

José Luís Lopes Tavares

**APLICAÇÃO DE REDES NEURONAIIS NO PLANEAMENTO DE
EMERGÊNCIA EM BARRAGENS DE ATERRO**

Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil
no âmbito do Protocolo de Parceria entre a Universidade Lusófona e
o Laboratório, para obtenção do grau de Mestre na especialização de
Construção e Hidráulica do Mestrado em Engenharia Civil da ULHT

Presidente: Prof. Doutor Eng.º Manuel dos Santos Fonseca, ULHT
Arguente: Prof. Doutor Eng.º António Patrício de Sousa Betânico de Almeida, IST
Orientador: Prof. Doutor Eng.º João Manuel Marcelino Mateus da Silva, LNEC
Co-Orientadora: Profª. Doutora Eng.º Maria Teresa Viseu Santos, ULHT

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias
Faculdade de Engenharia e Ciências Naturais

Lisboa

13 de Outubro de 2011

José Luís Lopes Tavares

Email: tavareszeluis2011@hotmail.com

**Aplicação de redes neuronais no planeamento de emergência em
barragens de aterro**

Orientador: Prof. Doutor João Marcelino (LNEC)

Co-Orientadora: Prof^a. Doutora Teresa Viseu (ULHT)

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Engenharia e Ciências Naturais

Lisboa

13 de Outubro de 2011

DEDICATÓRIA PESSOAL

Dedico esta tese ao meu filho Luís Rafael. O seu nascimento é sem dúvida, para mim o maior acontecimento do ano 2010. Com apenas um ano de idade, já me deu muitas alegrias e tem-me ensinado muitas coisas novas da vida.

Também queria dedicar esta tese à minha Mãe, à minha Irmã, ao meu Irmão e à minha Esposa, pelas palavras de incentivo com que me acompanharam ao longo destes meses que outrora difícil foram. Obrigado!

AGRADECIMENTOS

Antes de mais agradeço a Deus pela força, coragem, e serenidade que me deu para vencer mais esta etapa da minha vida.

Agradeço a todos aqueles que de uma forma directa ou indirecta contribuíram para que esta tese fosse realizada.

Particular agradecimentos à Directora do Departamento de Geotecnia do LNEC, Dr.^a Laura Caldeira, pelo tempo facultado, aos meus orientadores, Dr. João Marcelino e à Dr.^a Teresa Viseu pela orientação e conhecimentos transmitidos.

Agradece-se ainda à empresa de Águas de Trás os Montes e Alto Douro pela autorização da utilização dos resultados da observação da barragem neste trabalho.

RESUMO

O controlo de segurança para preservação da integridade estrutural da barragens é, durante a fase de exploração normal, uma actividade que tem essencialmente como elemento fulcral as inspecções à estrutura e os dados resultantes das observações periódicas da obra, apoiando-se em modelos de comportamento da mesma. Neste sentido, a análise de situações de emergência requer, em regra, a atenção de um especialista em segurança de barragens, o qual poderá, perante os resultados da observação disponíveis e da aplicação de modelos do comportamento da estrutura, identificar o nível de alerta adequado à situação que se está a viver na barragem.

Esta abordagem tradicional de controlo de segurança é um processo eficaz mas que apresenta a desvantagem de poder decorrer um período de tempo significativo entre a identificação de um processo anómalo e a definição do respectivo nível de gravidade. O uso de novas tecnologias de apoio à decisão e o planeamento de emergência podem contribuir para minorar os efeitos desta desvantagem.

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo de aferição do comportamento de uma barragem através da aplicação de redes neuronais do tipo Percepção Multicamadas aos resultados da observação de uma barragem de aterro, por forma a identificar anomalias de comportamento e a quantificar o correspondente nível de alerta.

A tese divide-se essencialmente em duas partes. A primeira parte aborda os aspectos que se relacionam com as barragens de aterro, nomeadamente definindo as soluções estruturais mais correntes e identificando os principais tipos de deteriorações que podem surgir nestas estruturas. São, igualmente, abordadas as questões que se relacionam com o controlo de segurança e o planeamento de emergência em barragens de aterro.

A segunda parte do trabalho versa sobre o modelo de rede neuronal desenvolvido em linguagem de programação java – o modelo ALBATROZ. Este modelo permite definir o nível de alerta em função do nível de água na albufeira, da pressão registada em quatro piezómetros localizados no corpo e na fundação da barragem e do caudal percolado através da barragem e respectiva fundação. Nesta parte, o trabalho recorre, aos resultados da observação da barragem de Valtorno/Mourão e usa os resultados de um modelo de elementos finitos (desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no âmbito do plano de observação da obra) por forma a simular o comportamento da barragem e fornecer dados para o treino da rede neuronal desenvolvida.

O presente trabalho concluiu que o desenvolvimento de redes neuronais que relacionem o valor registado em algumas das grandezas monitorizadas pelo sistema de observação com o nível de alerta associado a uma situação anómala na barragem pode contribuir para a identificação rápida de situações de emergência e permitir agir atempadamente na sua resolução. Esta característica transforma a redes neuronais numa peça importante no planeamento de emergência em barragens e constitui, igualmente, um instrumento de apoio ao controlo de segurança das mesmas.

ABSTRACT

The safety control, to preserve the structural integrity of the dam, during the exploration phase, is an activity based on the inspections of the structure and on the analysis of the data from the monitoring activities, and relies on the comparison of the observed with the predicted behavior. In this sense, the analysis of emergency situations need, as a rule, the attention of an expert on dam safety, which may, with the results of observation and by comparison with models of the behavior, identify the alert level adequate to the situation that is occurring in the dam.

This traditional approach to safety monitoring is effective but may have the disadvantage of taking a significant period of time between identification of an anomalous process and the determination of their level of severity. The use of new technologies for decision support and emergency planning can help mitigate the effects of this disadvantage.

This study represents an example of application a model using a multilayer perceptron neural network like to the monitoring results of a embankment dam in order to identify anomalies and establish a alert level.

The thesis is divided into two main parts. The first part deals with those aspects related to embankment dams, including the most common structural solutions and the main types of damage that may arise in these structures. Issues relating to the safety control and emergency planning in embankment dams are also addressed.

The second part of the work deals with the neural network model developed in java programming language - the model ALBATROZ. This model allows you to define the alert level and some diagnoses of the dam behavior based on the input of the water level in the reservoir, the pressure recorded in four piezometers located in the dam and seepage flow through the dam and its foundation. This part of the work relies also on the results of observation of the Valtorno/Mourão dam and on a finite element model (developed at the National Laboratory of Civil Engineering for the monitoring plan) in order to obtain data to the training of the neuronal network model.

This study concluded that the development of neural networks that relate the value recorded in some of the quantities monitored by the monitoring system with the alert level associated with an anomalous situation in the dam may contribute to the rapid identification of emergency situations and allow early action in its resolution. This characteristic makes neural networks a important tool in a dam emergency planning and in dam safety.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANPC - Autoridade Nacional de Protecção Civil
CDOS – Centro Distrital de Operações de Socorro
CNOS – Centro Nacional de Operações de Socorro
INAG – Instituto da Água
IM - Instituto de Meteorologia
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NPA – Nível Pleno de Armazenamento
NAA – Nível de Água na Albufeira
NMC – Nível de Máxima Cheia
NME – Nível Mínimo de Exploração
NOIB – Normas de Observação e Inspeção de Barragem
PEI – Plano de Emergência Interno
RSB – Regulamento de Segurança de Barragem
SAA- Sistema de Alerta e de Aviso
ZAS – Zona de Auto-Salvamento

APLICAÇÃO DE REDES NEURONAIS NO PLANEAMENTO DE EMERGÊNCIA EM BARRAGENS DE ATERRO

PALAVRAS-CHAVE:

Barragem de aterro

Controlo de segurança

Redes neuronais

Planeamento de emergência

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN THE EMERGENCY PLANNING OF EMBANKMENT DAM

KEYWORDS:

Embankment dam

Safety control

Artificial neural network

Emergency planning

ÍNDICE GERAL

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Justificação do tema e objectivo do trabalho	1
1.2 – Estrutura da dissertação	2
Capítulo 2 – AS BARRAGENS DE ATERRO	4
2.1 – Introdução	4
2.2 – Tipo de barragens de aterro.....	4
2.3 – Tipo de deteriorações em barragens de aterro	7
Capítulo 3 – CONTROLO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE ATERRO	10
3.1 – Considerações iniciais	10
3.2 – Inspeções visuais	11
3.3 – Sistema de observação.....	11
3.4 – Grandezas e equipamentos característicos do sistema de observação.....	13
3.4.1 – Considerações iniciais.....	13
3.4.2 – Nível de água na albufera	14
3.4.3 – Pressões intersticiais	15
3.4.4 – Caudal total ou caudais parciais	16
3.4.5 – Deslocamentos.....	17
3.5 – Plano de emergência interno da barragem.....	20
3.5.1 – Introdução	20
3.6 – Intervenientes no PEI.....	21
3.6.1 – Ocorrências excepcionais e circunstâncias anómalas.....	22
3.6.2 – Níveis de alerta.....	24
3.6.3 – Acções de resposta.....	25
3.6.4 – Indicadores quantitativos e qualitativos de deterioração	25
Capítulo 4 – MODELOS BASEADOS EM REDES NEURONAIS.....	28
4.1 – Considerações iniciais	28
4.2 – Breve historial sobre redes neuronais	29
4.3 – Paralelismo Neurónio biológico – Neurónio artificial	31
4.3.1 – Neurónio biológico	31
4.3.2 – Neurónio artificial	32
4.4 – Modelação de rede neuronal artificial	34
4.5 – Rede neuronal desenvolvida	37
4.5.1 – Plataformas disponíveis de redes neuronais.....	37
4.5.2 – O modelo ALBATROZ	38
4.5.3 – Critérios utilizados para classificação dos neurónios de saída.....	41
Capítulo 5 – CASO DE ESTUDO – A BARRAGEM DE VALTORNO/MOURÃO	42
5.1 – Caracterização da barragem.....	42
5.2 – Descrição e tratamento dos problemas verificados na barragem	43
5.2.1 – Identificação do problema.....	43
5.2.2 – Tratamento de reforço da impermeabilização	45
5.3 – Sistema de observação da barragem de Valtorno/Mourão	47
5.3.1 – Características gerais	47
5.3.2 – Escolha dos sensores a incluir na análise.....	49
5.4 – Processo de aprendizagem da rede neuronal ALBATROZ	49
5.4.1 – Abordagem para criação da série de aprendizagem do modelo neuronal.....	49
5.4.2 – 1ª Fase - Modelação da resposta da barragem com base no modelo de comportamento de elementos finitos	50

5.4.3 – 2ª Fase – Classificação do grau de gravidade na barragem com base na experiência dos especialistas	53
5.4.4 – Aprendizagem do modelo	54
5.5 – Fase de diagnóstico por aplicação do modelo ALBATROZ aos dados do sistema de observação da barragem de Valtorno/Mourão	56
Capítulo 6 – CONCLUSÕES	60
ANEXO I – Tabelas	62
ANEXO II – Fluxogramas e Algoritimos	102
ANEXO III – Desenhos	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Barragem de aterro com perfil homogéneo	5
Figura 2.2 – Barragem de enrocamento com órgãos de estanquidade: a) a montante; b) interno	6
Figura 2.3 – Barragem de aterro com perfil zonado	7
Figura 2.4 – Esquema da secção transversal de uma barragem mista	7
Figura 2.5 – Causas mais comuns de rotura em barragens de aterro	8
Figura 3.1 – Instrumentação típica em barragens de aterro	14
Figura 3.2 – Medição do nível de albufeira	15
Figura 3.3 – Escala limnimétrica	15
Figura 3.4 – Equipamento de controlo de pressão nas galerias	16
Figura 3.5 – Medição do caudal numa bica circular	17
Figura 3.6 – Aspecto geral de uma marca superficial	18
Figura 3.7 – Aparelho de nivelamento de precisão	18
Figura 3.8 – Sistematização dos tipos de ocorrências excepcionais e de circunstâncias anómalas	23
Figura 3.9 – Conceito de “deterioração” adoptado no presente trabalho	26
Figura 4.1 – Esquema de um neurónio biológico	31
Figura 4.2 – Modelo artificial de um neurónio biológico	33
Figura 4.3 – Funções de activação mais comuns	34
Figura 4.5 – Arquitectura de uma rede neuronal Perceptrão Multicamada	38
Figura 4.6 – Arquitectura da rede neuronal desenvolvida	40
Figura 5.1 – Vista montante a) e jusante b) da barragem de Valtorno/Mourão	42
Figura 5.2 – Assentamentos observados no coroamento da barragem	44
Figura 5.3 – Caudais percolados registados durante o primeiro enchimento da barragem	45
Figura 5.4 – Modelo geométrico da barragem de Valtorno e divisão em elementos finitos ...	51
Figura 5.5 – Diagrama para aferição das leituras piezométricas, na zona do núcleo na situação de escoamento em regime permanente para o nível da água ao NPA	51
Figura 5.6 – Diagrama para aferição das leituras piezométricas, na zona do núcleo na situação de escoamento em regime permanente para o nível da água à cota 459 m	52
Figura 5.7 – Iterações efectuadas no processo de treino do modelo ALBATROZ	56
Figura 5.8 – Nível de alerta na barragem detectada pelo Modelo ALBATROZ, antes e depois do tratamento	58

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.1 – Quadro comparativo entre cérebro e o computador	29
Quadro 4.2 – Quadro comparativo entre computadores e neurocomputadores	29
Quadro 5.1 – Áreas das Zonas Geotécnicas	46
Quadro 5.2 – Composição das caldas de tratamento da fundação	47
Quadro 5.3 – Previsão das leituras piezométricas para o NPA em regime permanente	51
Quadro 5.4 – Previsão das leituras piezométricas para a cota 459 m	52

ÍNDICE DE TABELAS NO ANEXO I

Tabela 1 – Deteriorações mais comuns nas barragens de aterro	62
Tabela 2 – Ficha de inspecção visual de rotina	63
Tabela 3 – Frequências das observações.....	65
Tabela 4 – Caracterização genérica das situações que accionam os diversos níveis de alerta. 66	
Tabela 5 – Acções de resposta a implementar na barragem para o nível de alerta Vermelho . 67	
Tabela 6 – Potenciais problemas detectáveis pelo sistema de observação da barragem e as correspondentes medidas correctivas	68
Tabela 7 – Definição do nível de alerta em função do observado	70
Tabela 8 – Definição do nível de alerta em função dos valores das grandezas registadas pelo sistema de observação da barragem	72
Tabela 9 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de aprendizagem do modelo ALBATROZ com base em dados “gerados” (1/7)	73
Tabela 10 – Modelo ALBATROZ. Ficheiro tipo de dados para treino	80
Tabela 11 – Modelo ALBATROZ- Ficheiro tipo de saída do resultado do treino.....	85
Tabela 12 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de dados registados do período anterior ao tratamento (1/2)	87
Tabela 13 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de dados registados do período posterior ao tratamento (1/3)	89
Tabela 14 – Modelo ALBATROZ. Ficheiro – tipo de dados para diagnóstico para a Fase da barragem anterior à reabilitação	92
Tabela 15 – Modelo Albatroz. Ficheiro tipo de resultados do diagnóstico para a Fase da barragem anterior à reabilitação	94
Tabela 16 – Modelo ALBATROZ. Ficheiro tipo de dados para diagnóstico para a Fase da barragem posterior à reabilitação	97
Tabela 17 – Modelo Albatroz. Ficheiro tipo de resultados do diagnóstico para a Fase da barragem posterior à reabilitação	99

ÍNDICE DE DESENHOS NO ANEXO III

Desenho 1 – Planta da barragem de Valtorno/Mourão	116
Desenho 2 – Resultados das Injecções de Reforço da Impermeabilização, 1ª fase	117
Desenho 3 – Resultados das Injecções de Reforço da Impermeabilização, 2ª fase	118
Desenho 4 – Barragem de Valtorno/Mourão. Localização dos sensores a incluir na análise	119

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Justificação do tema e objectivo do trabalho

O aparecimento das barragens, entendidas como estruturas de armazenamento de grandes volumes de água, afigurou-se para a sociedade humana como uma solução para dar resposta a problemas de abastecimento da água às populações, de controlo de cheias ou de insuficiência energética.

Se, por um lado, as barragens contribuem para a resolução destas necessidades nas sociedades, levantaram, por outro, questões relacionadas com a sua segurança e eventual rotura que pode ter, nas zonas situadas a jusante, consequências catastróficas a nível social, económico e ambiental.

Desta forma, o conceito de segurança de barragens, que tradicionalmente era associado ao de segurança estrutural, tem vindo a englobar uma outra área considerada, reconhecidamente, como de importância vital e que está directamente relacionada com o planeamento de emergência para permitir a gestão de acidentes na barragem e no vale a jusante. Com efeito, embora seja impossível assegurar que à barragem esteja associado um risco nulo é, no entanto, possível minimizar substancialmente os danos em caso de ocorrência de um acidente. A preparação de uma resposta, rápida e eficaz, às situações de emergência complementa, assim, os tradicionais sistemas de segurança de barragens.

O controlo de segurança para preservação da integridade estrutural da barragem é, durante a fase de exploração normal, uma actividade que tem essencialmente como elemento fulcral as inspecções à estrutura e os dados resultantes das observações periódicas da obra, apoiando-se em modelos de comportamento da mesma. Estes modelos, que servem de instrumentos de interpretação do comportamento estrutural da obra, são modelos idealizados, com maior ou menor simplificação, da realidade, tanto quanto à forma física como às solicitações reais na barragem como também quanto ao comportamento dos materiais.

Assim, verifica-se que, normalmente, o controlo de segurança destina-se, a acompanhar o comportamento da obra e a verificar as suas condições de segurança para cenários correntes, de modo a permitir intervenções atempadas que evitem situações de acidente. Neste sentido, a análise de situações de emergência requer, em regra, a atenção de um especialista em segurança de barragens, o qual poderá, perante os resultados da observação disponíveis e da aplicação de modelos do comportamento da estrutura, identificar de forma inequívoca o nível de alerta adequado à situação que se está a viver na barragem.

Esta abordagem tradicional de controlo de segurança é um processo eficaz mas que apresenta a desvantagem de poder decorrer um período de tempo significativo entre a identificação de um processo anómalo e a definição do respectivo nível de gravidade. Requer, por outro lado a disponibilidade de especialistas para avaliação da situação. O uso de novas tecnologias de apoio à decisão e o planeamento de emergência podem contribuir para minorar os efeitos desta desvantagem.

O presente trabalho vem apresentar o desenvolvimento e a aplicação de um modelo de redes neuronais à previsão do nível de alerta para a barragem de Valtorno/Mourão. Trata-se de um exemplo do uso de novas tecnologias no controlo de segurança e no planeamento de emergência em barragens. O trabalho recorre, igualmente, aos resultados da observação da barragem de Valtorno/Mourão e faz uso de modelos de interpretação quantitativa destes resultados por forma a simular o comportamento da mesma barragem e validar o modelo de redes neuronais desenvolvido.

Conclui-se que o desenvolvimento de redes neuronais que relacionem o valor registado em algumas das grandezas monitorizadas pelo sistema de observação com o nível de alerta associado a uma situação anómala na barragem pode contribuir para a identificação rápida e automática de situações de emergência e permitir agir atempadamente na sua resolução. Esta característica transforma as redes neuronais numa peça importante no planeamento de emergência em barragens e constitui, igualmente, um instrumento de apoio ao controlo de segurança das mesmas.

1.2 – Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em seis capítulos. No primeiro capítulo faz-se a introdução ao tema.

O segundo capítulo aborda os aspectos que se relacionam com as barragens de aterro, nomeadamente definindo as soluções estruturais mais correntes e identificando os principais tipos de deteriorações que podem surgir nestas estruturas.

O terceiro capítulo aborda as questões que se relacionam com o controlo de segurança em barragens de aterro, com destaque para os aspectos da observação e interpretação do comportamento da estrutura. Faz-se a referência às principais grandezas observadas nas barragens de aterro pelos sistemas de observação e descrevem-se os métodos e equipamentos utilizados na leitura dessas grandezas. Apresentam-se, de forma pormenorizada, alguns conceitos relacionados com os modelos de interpretação quantitativa de resultados, uma vez que os resultados destes modelos são utilizados para treinar o modelo

de redes neuronais desenvolvido. É ainda neste capítulo, que se faz uma introdução ao planeamento de emergência em barragens e se descrevem as circunstâncias da sua aplicação. Por último, tecem-se algumas considerações gerais relativas aos níveis de alerta, identificando os quatro níveis que vigoram em Portugal que são preconizados pela Autoridade Nacional de Protecção Civil – ANPC.

No quarto capítulo faz-se uma breve introdução às redes neuronais artificiais, sendo apresentados os conceitos gerais relacionados com esta área. Apresenta-se um resumo dos principais avanços alcançados nesta matéria e referem-se trabalhos, desenvolvidos a nível internacional, onde são tratados aspectos que se consideraram de grande importância para uma utilização adequada de modelos de redes neuronais do tipo adoptado na presente tese - Perceptrão Multicamadas. É neste capítulo que se caracterizam os aspectos mais relevantes das redes neuronais do tipo Perceptrão Multicamada, nomeadamente a arquitectura, o funcionamento, a aprendizagem e a capacidade de generalização. Por último descreve-se o modelo de rede neuronal desenvolvido em linguagem de programação java – o modelo ALBATROZ.

O quinto capítulo apresenta o caso de estudo - a barragem Valtorno/Mourão. Faz-se a caracterização do respectivo sistema de observação, com a identificação e descrição de alguns equipamentos utilizado nas observações. Explica-se o processo de desenvolvimento de séries para aprendizagem da rede neuronal, onde se identifica o tipo de modelação do comportamento da barragem que foi utilizado para a obtenção dos dados de treino.

É, igualmente, neste capítulo que se descrevem as condições de aplicação do modelo desenvolvido, o processo de aprendizagem e as dificuldades encontradas. Por último, faz-se a aplicação do modelo ALBATROZ aos dados de observação da barragem de Valtorno/Mourão e apresentam-se os resultados obtidos.

No sexto capítulo faz-se uma análise crítica dos resultados alcançados e perspectivam-se os futuros desenvolvimentos.

Capítulo 2 – AS BARRAGENS DE ATERRO

2.1 – Introdução

A construção de uma barragem num determinado local tem vários impactos. Entre os mais graves encontram-se os associados às ondas de cheia provocadas por eventuais roturas ou pelo galgamento do corpo da barragem. Com efeito, este tipo de acidente pode ter consequências catastróficas em termos de perdas de vidas humanas e perdas materiais.

Assim, hoje em dia, há uma crescente preocupação quanto às exigências de segurança de barragens devido a vários factores, tais como o seu envelhecimento, a existência de obras de grandes dimensões, nomeadamente com altura superior a 100 m, e o natural aumento do número de obras em exploração. Assiste-se também a uma crescente instalação de pessoas e bens nos vales a jusante, a par de um aumento da percepção do risco associado a estas obras.

A preocupação em garantir e controlar a segurança das barragens, têm-se traduzido no desenvolvimento de determinadas acções nomeadamente no estabelecimento de legislação e no cumprimento rigoroso de normas de exploração e de programas de inspecção, na observação e manutenção, bem como na definição de regras de gestão de albufeiras e de procedimentos a adoptar em caso de emergências.

Estas acções dependem naturalmente do tipo de barragem e do tipo de deteriorações mais usuais a ela associada.

2.2 – Tipo de barragens de aterro

No que diz respeito aos tipos de barragens de aterro é, de uma forma geral, possível distinguir, (Caldeira, 2001):

- barragens de terra, com perfil homogéneo ou com perfil zonado;
- barragens de enrocamento, com órgão de estanquidade a montante ou com órgão de estanquidade interno;
- barragens mistas, com perfil constituído por maciços, de terra e de enrocamento.

Esta classificação, que à semelhança de outras classificações, não é exaustiva, pressupõe uma distinção entre os materiais incorporados nos maciços de terra e nos de enrocamento.

Na execução dos maciços de terra, os materiais utilizados são essencialmente solos de granulometria relativamente extensa com abundância de partículas de dimensões inferiores

a 2 mm. Pode-se constatar a presença de alguns elementos grosseiros no seu seio mas, em quantidades pequenas, não chegando a formar uma estrutura.

Os materiais finos são os elementos predominantes num maciço de terra e são estes que acabam por condicionar o comportamento do maciço do ponto de vista da compactabilidade, da deformabilidade, da resistência mecânica e da permeabilidade.

Os enrocamentos apresentam, de uma forma geral, elementos de dimensões variadas, desde partículas com dimensões inferiores às argilas, a elementos cuja dimensão é significativa e limitada por aspectos técnico-construtivos, podendo atingir até 1,0 m, ou nalguns casos mesmo mais. Nos enrocamentos compactados, a presença de elementos finos não favorece o comportamento mecânico. Os elementos finos, de granulometria extensa, no seio do material de enrocamento diminuem significativamente, após a compactação, o índice de vazios e a deformabilidade, aumentando consequentemente a resistência do aterro.

Uma barragem de terra correctamente projectada e executada pode ter na sua constituição uma grande variedade de solos naturais, Figura 2.1. Este tipo de barragem pode ser caracterizada pela capacidade de suportar grandes deformações, sem ocorrência de roturas, e por possuir uma elevada relação base/altura. Estas características fazem com que as barragens de terra sejam aconselháveis para as fundações brandas, compressíveis ou permeáveis, uma vez que as tensões aplicadas ao solo de fundação são consideravelmente reduzidas e o trajecto da água percolada através da fundação é necessariamente mais longo, (Caldeira, 2001).

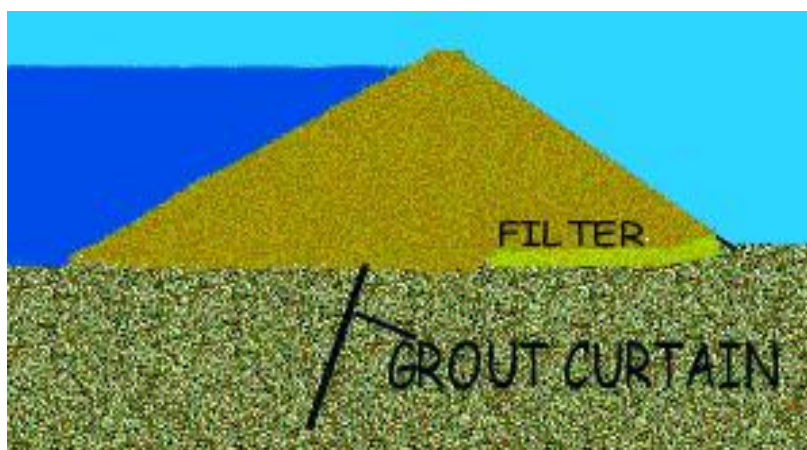


Figura 2.1 – Barragem de aterro com perfil homogêneo
Fonte: <http://www.grouters.org/rockgrout/Dams%20Usage.htm>

As barragens de enrocamento, como o próprio nome sugere, embora podendo ter alguns materiais finos misturados no seu corpo, são constituídas essencialmente por materiais grosseiros, o que faz com que por si só a sua impermeabilização não esteja assegurada, Figura 2.2. Estas barragens obrigam à colocação de um dispositivo que garanta a impermeabilidade. Assim, a impermeabilização do corpo da barragem é conseguida recorrendo à execução, sensivelmente no eixo da barragem, de uma cortina estanque vertical, ou a um revestimento do talude de montante, com uma membrana impermeável que pode ser feita de betão, madeira, aço, material betuminoso ou telas plásticas. Na execução da cortina ou da membrana, deve-se ter em consideração as deformações que posteriormente estes dispositivos podem sofrer. Estas deformações, derivadas dos assentamentos dos enrocamentos, podem causar roturas que comprometem a impermeabilização. Para evitar a ocorrência deste fenómeno, adoptam-se juntas adequadamente dispostas e munidas de segurança redundante. Normalmente, inclui-se a jusante das membranas e das cortinas, filtros capazes de controlar, sem riscos, a erosão interna, as infiltrações acidentais, garantindo assim uma segurança adicional ao maciço (Caldeira, 2001).

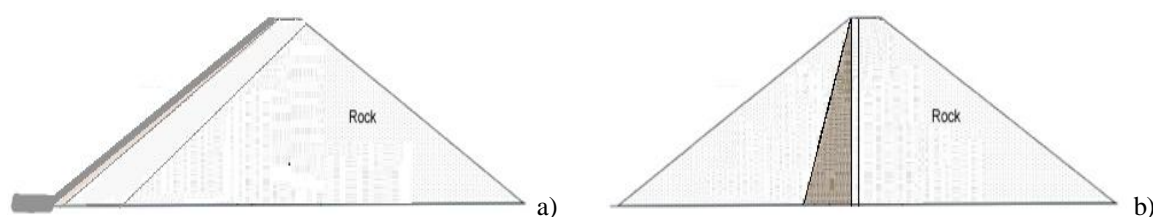


Figura 2.2 – Barragem de enrocamento com órgãos de estanquidade: a) a montante; b) interno

Fonte: Adaptada de <http://www.pwri.go.jp/eng/webmag/wm005/seika.html>

Em comparação com as barragens zonadas com núcleos argilosos aquelas que possuem cortinas de materiais manufacturados, Figura 2.2, podem ser vantajosas, especialmente em locais onde o solo de fundação é rochoso e não existam por perto materiais com boas características de impermeabilização, a serem empregues no núcleo. A introdução de cortinas nestas barragens reduz consideravelmente o volume de aterro de solos como características especiais, o que se pode traduzir numa vantagem em termos económicos.

Actualmente, é também frequente a construção de barragens zonadas constituídas por maciços estabilizadores de enrocamento, por um núcleo central protegido a montante e a jusante e ainda por filtros de espessura e granulometria variáveis. Este tipo de construção privilegia a optimização e o uso adequado dos materiais disponíveis, baseado nas suas

características mecânicas e hidráulicas e na sua colocação nas diferentes zonas do maciço da barragem, Figura 2.3.

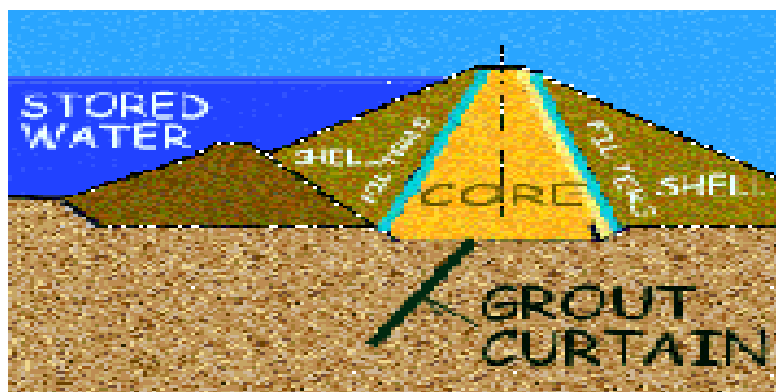


Figura 2.3 – Barragem de aterro com perfil zonado
Fonte: <http://www.grouters.org/rockgrout/Dams%20Usage.htm>

As barragens mistas, ou seja feitas de terra e enrocamento, com núcleo central ou com núcleo inclinados, Figura 2.4, são as mais frequentes no que diz respeito à construção barragens de aterro. Estas barragens podem atingir uma altura de trezentos metros (Caldeira, 2001).

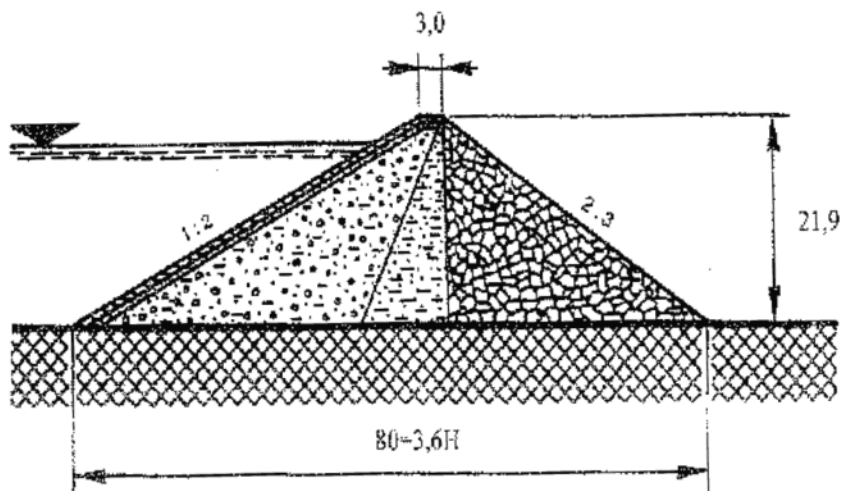


Figura 2.4 – Esquema da secção transversal de uma barragem mista
Fonte: (INAG, 2001)

2.3 – Tipo de deteriorações em barragens de aterro

As principais causas de acidentes em barragens de aterro são a erosão interna, o piping, o galgamento e os assentamentos excessivos, tal como o demonstra a estatística que consta do gráfico da Figura 2.5.

Na Tabela 1 do Anexo I estão enumeradas as causas e efeitos das deteriorações mais comuns nas barragens de aterro.



Figura 2.5 – Causas mais comuns de rotura em barragens de aterro

Fonte: Marcelino.2008

Da consulta desta última tabela, verifica-se, por exemplo, que o galgamento da barragem pode dar-se, por exemplo, por uma estimativa por defeito do caudal de projecto do descarregador ou pela inoperacionalidade deste órgão de segurança.

A existência de zonas mais permeáveis e a concentração de caudais em certas zonas da barragem, como por exemplo, no corpo da barragem, nos encontros, na fundação e nas zonas de contacto com estruturas rígidas podem dar origem a valores elevados de percolação e à erosão interna. Constituem indicadores destes fenómenos de deterioração, valores de pressão piezométrica elevada, perda de água e aparecimento de zonas saturadas a jusante. O estabelecimento de caminhos preferenciais de percolação pode ser provocado por um controlo de construção inadequado, nomeadamente devido a (Viseu et al, 2001):

- compactação deficiente à volta das condutas enterradas da descarga de fundo ou do descarregador de cheias;
- ligação deficiente entre zonas de transição, como, por exemplo, no contacto solo-betão e na ligação entre estruturas de betão e os aterros adjacentes;
- selagens deficientes de galerias, de poços e de furos de observação.

O estabelecimento de caminhos preferenciais de percolação pode ainda derivar da inadequação do projecto ou do envelhecimento da obra, sendo de mencionar:

- a inadequação do núcleo impermeável e de outros sistemas de estanquidade ou inadequação de filtros, incluindo os materiais constituintes e a sua execução;
- a inadequação de cortinas de impermeabilização ou a respectiva fissuração por vezes causadas por assentamentos e deformações excessivos;

- a inadequação de sistemas de drenagem, incluindo materiais constituintes e a sua execução, que com o envelhecimento, podem sofrer colmatação;
- as fugas em condutas enterradas.

As fugas em condutas enterradas constituem um fenómeno particularmente grave nas zonas das barragens onde as diferenças de pressão entre o exterior e o interior da conduta podem ser importantes, sendo por esta razão evitadas, em muitos casos, as condutas em pressão ao longo de todo o aterro, prevendo-se nas descargas de fundo um troço, a montante, em pressão e um troço, a jusante, em superfície livre.

As deformações e assentamentos significativos nas barragens de aterro podem dar origem ao aparecimento de fendas no aterro e, eventualmente, à rotura de condutas inseridas no corpo da barragem, à perda de folga e ao possível galgamento. Estas deteriorações podem surgir na sequência de um tratamento de consolidação inadequado, de condições iniciais de compressão deficientes ou de uma deficiente caracterização da deformação dos materiais.

A instabilidade e o deslizamento dos taludes podem dever-se à sua inclinação elevada que pode ser devido a um erro de projecto ou de construção. A montante, estas instabilizações podem também surgir na sequência do esvaziamento rápido da albufeira quando o material da barragem é muito impermeável, o que pode induzir valores elevados de pressões intersticiais ou seja, o excesso das pressões de água, no corpo da barragem. A jusante, as instabilizações do talude podem dever-se ao excesso de percolação por deficiência do sistema de drenagem e consequente saturação do maciço.

Muitos acidentes estão ainda relacionados com a utilização e colocação inadequada dos materiais do aterro. Assim, existem exemplos variados de inadequação de terras de empréstimo e de utilização de materiais de aterro de deficiente qualidade: argilas finas, orgânicas ou dispersivas, siltes e areias finas uniformes, terras solúveis, solos expansíveis, terras residuais com blocos de grande dimensão, rochas decompostas, rochas meteorizáveis, e, ainda, solos com uma deficiente granulometria. Também uma protecção inadequada dos taludes pode dar origem a erosão por ondas geradas na albufeira, a montante, ou a erosão ravinosa do talude de jusante, devido à precipitação, ou seja erosão externa (Viseu, 2006).

Capítulo 3 – CONTROLO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE ATERRO

3.1 – Considerações iniciais

O controlo de segurança é uma actividade imprescindível na vida de uma barragem, sendo feito durante as várias fases da respectiva vida: projecto, construção e exploração. Esse controlo baseia-se fundamentalmente nas inspecções visuais, na monitorização permanente e na realização de observações de rotina efectuadas através de instrumentos e aparelhos instalados na obra. O desenvolvimento destas actividades proporciona um conhecimento adequado do comportamento da barragem, tornando possível a detecção de anomalias e sua correcção atempada e eficaz, sempre que esta se revele necessária. O controlo de segurança de barragem integra três vertentes principais (Regulamento de Segurança de Barragem [RSB], 1990):

- segurança estrutural;
- segurança hidráulico/operacional;
- segurança ambiental.

A segurança estrutural tem a ver com um conjunto de acções desenvolvidas durante as fases de vida da barragem e tem como finalidade garantir a segurança à rotura e a funcionalidade da obra. A segurança hidráulica/operacional está relacionada com a funcionalidade e operacionalidade dos órgãos hidráulicos. A segurança ambiental consiste num conjunto de análises e medidas que visam eliminar ou minimizar os impactes ambientais negativos que a construção de uma barragem pode acarretar para uma determinada zona.

O controlo de segurança estrutural inicia-se na fase de projecto e desenvolve-se posteriormente, essencialmente com base nas actividades de observação (Marcelino et al., 2008). Esse controlo inicia-se com a recolha de informação feita através da realização de inspecções e com a recolha dos dados das observações, pela validação dos dados e por fim pela sua análise e conclusões relativas ao comportamento da barragem.

Actualmente, registam-se avanços importantes no uso de técnicas de inteligência artificial no controlo de segurança de barragens, como por exemplo, os sistemas periciais. Em Portugal, cita-se a título de exemplo, o sistema gestBarragens que é definido como um sistema integrado que desempenha a função de monitorização do comportamento estrutural de barragens de betão, permitindo a utilização e a exploração integrada de toda a informação da obra de que existe um registo informático. O sistema permite o acesso, via intranet ou via Internet, por utilizadores autorizados, estando estruturado em módulos: gB-Suporte, gB-

Observações, gB-Modelos, gB-Inspecções Visuais, gB-Documentação, gB-SIG e gB-Testes e Análise (Portela, 2007). O sistema gestBarragens foi desenvolvido para barragens de betão, estando, neste momento, em implementação nas barragens de aterro.

3.2 – Inspecções visuais

As inspecções visuais têm como principal objectivo a detecção de quaisquer anomalias ou alterações importantes, quer no comportamento estrutural e hidráulico-operacional da barragem, quer no funcionamento do seu sistema de observação. Deve ser dada uma atenção particular às inspecções visuais, já que a experiência comprovou que cerca de 70% de todas as situações de emergência podem ser identificadas visualmente. Assim, as inspecções permitem a detecção, ou seja, a definição exacta da localização, desenvolvimento, abertura e orientação de fissuras, infiltrações ou ressurgências e outras deteriorações, que podem eventualmente não ser detectáveis pela análise dos resultados da observação instrumental.

A inspecção visual de barragens constitui uma das principais formas, muitas vezes única, de identificação de deteriorações nas barragens e, quando praticada de uma forma sistemática, permite identificar as áreas de intervenção que requerem acção prioritária e avaliar a eficácia das medidas propostas para o seu tratamento.

As inspecções visuais carecem de preparação prévia, e, em particular, do desenvolvimento de uma ficha-tipo de inspecção visual de rotina, tal como a que consta da Tabela 2 do Anexo I. O desenvolvimento prévio desta ficha facilita in loco a identificação de sinais de deteriorações nas barragens, como por exemplo as alterações na aparência superficial, nos valores das infiltrações e nos movimentos. Nas inspecções visuais é fundamental a análise da evolução dos diversos aspectos inspeccionados. Daí a necessidade de, em cada inspecção, se dever consultar os resultados da inspecção anterior.

3.3 – Sistema de observação

O sistema de observação deve permitir a detecção atempada de anomalias no comportamento da barragem e a prevenção ou minimização dos efeitos nocivos daí decorrentes. De salientar que é possível, em certos casos, e para um sistema de observação devidamente explorado, a detecção de algumas disfunções no desempenho da barragem ainda antes de estas se revelarem nas inspecções visuais.

As observações devem ser dirigidas no sentido de satisfazer as necessidades específicas da obra, no que diz respeito à avaliação do seu comportamento e da quantificação

da sua segurança. A observação das acções/grandezas deve ainda servir para a aferição dos modelos de cálculo através da análise comparativa entre os valores previstos no projecto e os valores observados na barragem.

Na definição do sistema de observação e durante o processo da selecção das grandezas/acções a serem observadas, é de extrema importância ter em consideração as condições de projecto e os cenários de risco associados à barragem, assim como as ocorrências verificadas na fase construtiva (Marcelino, 2005).

A observação é feita mediante um plano de observação que por norma é elaborado antes do início da construção, sofrendo alterações ao longo desta e por vezes, após a entrada da obra em exploração. Na elaboração do plano de observação deve-se ter em considerações as hipóteses e os aspectos críticos do projecto e a avaliação de riscos potenciais. Devem, igualmente, ser definidos os meios que permitem o controlo ao longo do tempo das condições de segurança e funcionalidade da barragem e os meios de detecção atempada de quaisquer fenómenos anómalos. Ainda no âmbito do controlo de segurança, é também importante a elaboração de um plano de entrada em serviço da barragem, ou seja, o plano do primeiro enchimento da barragem, que deve estar articulado com o plano de observação.

O conhecimento dos critérios de projecto, dos cenários de acidente e incidente mais prováveis para cada tipo de obra, bem como das deteriorações mais comuns, permite, associando a cada cenário as variáveis que afecta, a definição de variáveis de controlo, cujo conhecimento viabiliza, em princípio, a detecção precoce e o acompanhamento da eventual evolução desse cenário (Marcelino et al., 2008).

Com base nos conhecimentos acima mencionados e em dados estatísticos referentes aos fenómenos mais comuns que estão na base da maioria dos acidentes em barragens de aterro, vide Figura 2.5, torna-se evidente que para o controlo de segurança nas barragens de aterro se reveste de grande importância a observação das seguintes variáveis: as pressões de água tanto no aterro como nas fundações, os caudais percolados, os deslocamentos e os níveis de água na albufeira.

Uma vez definidas as variáveis de controlo, ou as grandezas associadas, a medição é feita na maioria dos casos de forma manual, em épocas seleccionadas, utilizando equipamentos específicos, alguns permanentemente instalados nas obras e outros transportadas pelos técnicos durante as campanhas de observação. Também existem algumas barragens de aterro onde a recolha de dados é feita através sistemas automáticos. Geralmente

estes últimos sistemas são pouco frequentes a sua utilização e cobrem apenas alguns equipamentos instalados, porque representam ainda custos elevados.

Os dados recolhidos pelo sistema de observação têm de ser submetidos a um processo de validação, para o qual são estabelecidos limites de validação, que têm por finalidade evitar que se cometam erros grosseiros. Os limites de validação dos dados são estabelecidos de acordo com as características próprias de cada aparelho utilizado nas observações, com os limites físicos e, eventualmente, com os valores dos dados históricos da obra. Nos campos de medidas dos aparelhos de leituras são feitos ajustes enquanto no histórico dos dados são escolhidos dados de valores extremos, que depois são majorados segundo critérios físicos associados à previsível evolução das grandezas a que se referem.

Em relação aos resultados, a definição dos limites de validação tem em consideração a fase de vida da obra e o seu historial. Durante a fase de construção esses limites são estabelecidos actuando, da mesma forma que para os dados, somente nos campos de leitura dos aparelhos. Na fase de entrada em serviço, acrescentam-se informações resultantes dos modelos de dimensionamento, devidamente calibrados, e por último, na fase de exploração são afinados estes limites com recurso ao tratamento estatísticos dos dados entretanto colhidos e ao apoio de modelos (Marcelino et al., 2008)

A periodicidade das observações é estabelecida de acordo com as Normas de Observação e de Inspeção do Regulamento de Segurança de Barragens, onde se recomenda a frequência das leituras das diversas grandezas e aparelhagem instalada, tendo em conta a importância da barragem, que é determinada pela sua altura e pelo seu período de vida. Desta forma, nas barragens de aterro, as grandezas podem ser observadas diariamente, semanalmente, trimestralmente ou anualmente, ver Tabela 3 do Anexo I. Em casos excepcionais, tais como, a ocorrência de um sismo importante, grandes cheias, esvaziamento total ou abaixamento significativo da albufeira, deve ser realizada, de imediato, uma inspeção visual à barragem.

3.4 – Grandezas e equipamentos característicos do sistema de observação

3.4.1 – Considerações iniciais

De entre as várias grandezas que actuam numa barragem de aterro pode-se considerar algumas delas como sendo acções principais, pelas suas capacidades de afectar de forma mais ou menos grave a estrutura da obra. São exemplos de algumas dessas grandezas principais o nível da água na albufeira, as pressões intersticiais, o caudal total percolado e os

deslocamentos do aterro. A Figura 3.1 apresenta um esquema que ilustra alguns dos instrumentos instalados na obra utilizados para a observação dessas grandezas.



Figura 3.1 – Instrumentação típica em barragens de aterro

Fonte: Viseu, 2006

3.4.2 – Nível de água na albufeira

O nível de água na albufeira é medido periodicamente através de leituras directas em escalas limnimétricas afixadas em pontos chaves da obra, tais como nas torres de tomada de água, no paramento de montante, no pilar de sustentação de um passadiço de ligação a outras partes da obra ou ao longo das margens da albufeira, ver Figuras 3.2 e 3.3. Nas grandes barragens a leitura do nível da albufeira é feita de forma contínua em limnógrafos. Este sistema, que permite a automatização da recolha de dados, é hoje em dia muito usual pois permite, igualmente, a consulta remota do nível de água de albufeira.

Numa barragem de aterro, o acompanhamento do nível de água na albufeira é de extrema importância, pois um nível de água excepcional na albufeira, causado, por exemplo, por uma capacidade de vazão insuficiente do descarregador ou originada por um encravamento das comportas dos descarregadores, pode representar um risco elevado para a segurança, ou seja, o risco de galgamento do aterro. Tal situação pode também dar origem a situações menos gravosas, como por exemplo, o galgamento das paredes do canal ou da bacia de dissipação do descarregador de cheias, com eventual erosão externa da fundação e/ou do aterro (Caldeira, 2008).



Figura 3.2 – Medição do nível de albufeira
Fonte: arquivo pessoal

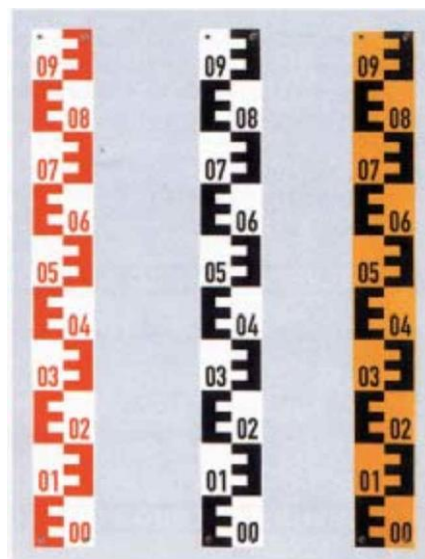


Figura 3.3 – Escala limnimétrica
Fonte: <http://www.gisiberica.com/escala%20limnimetricas/escala%20limnimetrica.htm>

Por vezes o nível de água na albufeira é estimado de forma indirecta pela medição da distância vertical que vai desde a superfície da água na albufeira até um ponto de cota conhecida, por exemplo, um passadiço ou uma soleira de um descarregador de superfície (Castro, 2001).

3.4.3 – Pressões intersticiais

O comportamento dos solos é fortemente influenciado pela tensão efectiva que é calculada a partir da tensão total deduzida da pressão da água ou seja da pressão intersticial.

A existência de pressões intersticiais elevadas no corpo ou nas fundações de uma barragem de aterro, provoca uma perda da resistência do material o que pode conduzir a obra à rotura. As pressões intersticiais são geradas pela percolação da água de montante para jusante e pela compactação do aterro durante a execução dos maciços. As situações graves associadas a pressões intersticiais elevadas podem ocorrer no decorrer do primeiro enchimento, e ainda em caso de esvaziamento rápido da albufeira.

As pressões intersticiais são monitorizadas recorrendo aos diversos tipos de piezómetros que são instalados, quer durante a construção quer através dos furos das sondagens, nas diferentes zonas da barragem. Estes equipamentos podem ser agrupados em dois grupos; piezómetros com fluxo e piezómetros sem fluxo. A principal diferença entre esses dois tipos de piezómetros é que no primeiro, para que a cota da água seja determinada é necessário que a água que se encontra no solo entre no tubo de medição e suba nesse tubo até poder ser tocado pela sonda. No segundo tipo de piezómetros, ou seja, nos piezómetros sem

fluxo, não é necessário a entrada e subida água no tubo: a medição é feita através da actuação da pressão da água sobre o dispositivo.

O tempo de resposta nos piezómetros com fluxo é maior, porque nestes é necessário que a água suba no tubo de medição, o que depende da geometria da câmara de tomada de pressão, do diâmetro do furo e do material envolvente. Já nos piezómetros sem fluxo, a resposta é praticamente imediata porque a pressão é rapidamente detectada pela sonda (Marcelino, 2008).

Em certos casos são instalados, em número variado e conforme necessário, piezómetros hidráulicos no corpo e na fundação da barragem de aterro para a observação das pressões intersticiais. Também podem ser instalados piezómetros eléctricos no corpo da barragem para a observação das pressões, por exemplo, nas zonas de contacto entre o aterro e a fundação. Este tipo de aparelhos é preferencialmente utilizado quando é importante obter uma resposta rápida na medição das pressões intersticiais. Por vezes verificam-se casos em que os piezómetros estão instalados em locais em que a pressão é superior à cota do terreno ou nas galerias; nestas situações a leitura da pressão pode também ser feita através dos manómetros instalados no local, ver Figura 3.4.

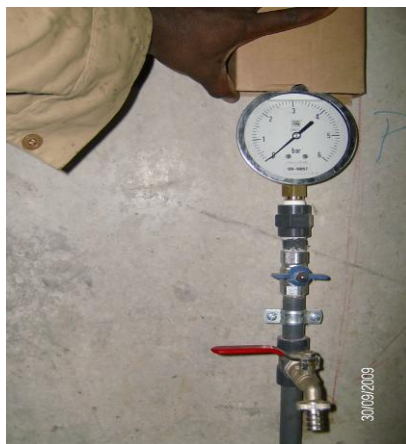


Figura 3.4 – Equipamento de controlo de pressão nas galerias
Fonte: arquivo pessoal

3.4.4 – Caudal total ou caudais parciais

A monitorização do caudal tem uma importância significativa já que fornece informação para a avaliação do comportamento hidráulico de numa barragem de aterro. Nas barragens regista-se, quase sempre, a passagem de uma pequena quantidade de água do lado montante para o de jusante, através dos maciços e/ou pela fundação. Um funcionamento adequado da barragem em termos hidráulicos depende em grande parte da medição desse

volume de água percolado e da relação entre a carga a montante e a variação do caudal. Calcula-se que 50% dos acidentes nas barragens têm origem num escoamento percolado superior ao esperado: desta estatística resulta a grande importância do seu acompanhamento e registo.

Em obras de grandes dimensões e de grande potencial de risco, a observação do caudal é feita através de dispositivos de medição do caudal parcial e do caudal total. Ao contrário do que se verifica nas grandes obras, nas barragens de pequenas dimensões, de altura inferior a 15m, por vezes, é apenas instalado o medidor de caudal total.

Em regra, o medidor de caudal é instalado na zona mais profunda do vale, onde são colectadas as águas percoladas. Posteriormente, estas águas são conduzidas para um fontanário ou medidor em descarregador. No caso do fontanário, este pode ter uma ou mais saídas para a separação dos caudais provenientes das diferentes zonas da barragem.

A medição do caudal através desse dispositivo consiste em contabilizar o tempo gasto para que uma determinada bica encha um recipiente de volume conhecido, ver Figura 3.5.

Os caudais percolados podem, igualmente, ser medidos recorrendo a descarregadores em triângulo de soleira delgada. Estes dispositivos, ao contrário dos fontanários, são mais dispendiosos na sua execução mas, em contrapartida, possibilitam, de forma mais simples, a aquisição automática de dados. Note-se que existem, também, descarregadores de geometria trapezoidal ou em semicírculo (Marcelino, 2008).



Figura 3.5 – Medição do caudal numa bica circular
Fonte: arquivo pessoal

3.4.5 – Deslocamentos

Nas barragens de aterro podem, de modo geral, ser distinguidos dois tipos de deslocamentos: deslocamentos externos e deslocamentos internos. Os deslocamentos internos e externos podem ainda ser subdivididos em deslocamentos verticais e horizontais.

A observação dos deslocamentos externos é feita por recurso à instalação de marcas superficiais, materializadas por maciços de dimensões adequadas, solidários com o aterro, resistentes às influências externas, ver Figura 3.6.



Figura 3.6 – Aspecto geral de uma marca superficial

Fonte: arquivo pessoal

Nestas marcas são afixados os denominados pontos de medição que servem de auxiliar na medição dos deslocamentos externos.

Para a medição dos deslocamentos verticais e horizontais externos, são utilizados diversos processos, com custos associados diferentes. A observação dos deslocamentos verticais externos é realizada recorrendo ao método de nivelamento de precisão (Marcelino, J., 2008).

Para a medição de deslocamentos horizontais, recorre-se à utilização de estações totais e de alvos reflectores, pelo que a este processo estão associados custos mais elevados. A Figura 3.7 ilustra um exemplo de um aparelho utilizado neste último método.



Figura 3.7 – Aparelho de nivelamento de precisão

Fonte: <http://www.gisiberica.com/ofertas%20n/OFERTAS%20EQUIPOS.htm>

A medição dos deslocamentos verticais internos é realizada com recurso aos seguintes equipamentos: placas de assentamento, células de assentamento, inclinómetros horizontais e níveis hidráulicos bem como baterias de assentamento. As placas e células de

assentamento são dispositivos que permitem a determinação da cota de um ponto no interior do aterro ou da fundação. A medição do deslocamento com placas de assentamento é feita recorrendo a meios topográficos, enquanto que com as células de assentamento, a medição é feita com recurso a uma unidade de leitura adequada, que pode ser eléctrica ou pneumática, consoante o tipo de célula colocada na placa.

Existem equipamentos que são capazes de fazer leituras de deslocamentos verticais ao longo de um alinhamento horizontal, como por exemplo, os inclinómetros horizontais ou os sistemas baseados nos níveis hidráulicos. Nestes equipamentos as leituras são feitas por intermédio de uma sonda que é deslocada no interior do tubo que constitui o alinhamento horizontal, sendo os registos feitos em intervalos de tempo regulares. Nos inclinómetros horizontais a leitura é feita através dos registos da inclinação relativamente à horizontal e os deslocamentos são obtidos pela integração, ao longo do comprimento do tubo, dessa grandeza. No caso dos níveis hidráulicos, a pressão acusada é convertida pelas células em altura de água. Em ambos os casos, as leituras referem-se a um ponto cuja cota é conhecida.

As baterias de assentamento são equipamentos que permitem a medição dos deslocamentos verticais ao longo de um alinhamento vertical, que é materializado por um tubo. A medição do assentamento é, à semelhança do que ocorre com os dispositivos de medição dos deslocamentos já referidos, feita graças a uma sonda que é introduzida no interior do tubo composta por várias secções e que constitui o alinhamento vertical. O assentamento em cada ponto é medido a partir de um ponto auxiliar fixo de cota previamente conhecida, que pode ser a base do tubo, ou através da cota de um ponto móvel indicado por um topógrafo, como por exemplo a boca do tubo. Conhecendo a distância que vai de um ponto até a um dos pontos auxiliares determina-se a cota desse ponto (Marcelino, 2008).

A leitura dos deslocamentos horizontais internos é realizada com recurso a inclinómetros ou a extensómetros de fios; destes dois sensores, o inclinómetro é o utilizado mais correntemente.

O inclinómetro é composto por um tubo de leitura que apresenta no seu interior calhas ajustadas ao dispositivo de medição e por um sensor que dispõe de uma unidade de leitura própria. O tubo de leitura é instalado de forma permanente no local da medição através de um furo vertical na barragem.

O uso deste equipamento para a determinação do deslocamento horizontal interno, obriga à existência de um ponto auxiliar fixo, que normalmente se considera como sendo a base do tubo inclinométrico, assumindo-se que este ponto é fixo.

A montagem de um inclinómetro é uma operação que pode ser executada durante a fase de construção ou no final da fase de construção. A montagem do equipamento durante a fase construtiva, o que normalmente acontece nas obras grandes, permite, por um lado, o acompanhamento do comportamento do aterro em termos de deslocamentos horizontais durante a fase construtiva, mas por outro, requer certos cuidados de instalação, que por vezes podem perturbar significativamente o ritmo do andamento da execução da obra.

Embora pouco utilizados, os extensómetros de fios podem ser encontrados em obras para a observação dos deslocamentos horizontais internos. A central de leitura constitui parte integrante deste equipamento. Deve ser instalada a jusante da barragem, onde vão dar os fios que fazem a ancoragem de pontos de medição situados no corpo da barragem (Marcelino, 2008).

3.5 – Plano de emergência interno da barragem

3.5.1 – Introdução

A tendência historicamente verificada na aplicação de recursos nas actividades de segurança de barragens focadas quase exclusivamente na preservação da integridade estrutural das barragens tem vindo a evoluir com o reforço de esforços, conjugados entre os donos das obras e as autoridades locais de protecção civil, na segurança das zonas a jusante que podem sofrer o impacto das cheias súbitas induzidas por acidentes ou pela exploração de barragens. É neste novo contexto que se deve procurar diminuir ou controlar o risco associado à existência de uma barragem não só através da instrumentação e da monitorização da segurança estrutural, aspectos que estão relacionados com a detecção de uma potencial situação perigosa ou de um comportamento anómalo nas barragens passível de conduzir a uma emergência, mas, também, através do desencadear de uma série de procedimentos pré-definidos para responder a situações de acidente, com a comunicação do desenrolar da situação de acordo com a cadeia técnica e hierárquica de decisão e com o funcionamento eficiente dessa cadeia em situações de emergência (Almeida et al., 2003).

O Plano de Emergência Interno (PEI) é hoje, tal como o plano de observação, uma peça do projecto de uma barragem. Constitui um documento privilegiado onde devem constar uma caracterização do conjunto de situações que poderão ser desencadeadas por potenciais eventos perigosos para a barragem e uma definição das possíveis acções de resposta e dos meios (humanos, materiais, logísticos e de equipamento) para assegurar o controlo da segurança na barragem e evitar ou minimizar os efeitos no vale a jusante (Almeida, 1999).

Por outro lado, de acordo com o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB), publicado em Diário da República de Outubro de 2007, pelo Decreto-Lei nº. 344/2007, as barragens devem agrupar-se em função dos danos potenciais a elas associados. São consideradas três classes de barragens, definidas em função da ocupação humana, expressa em termos de residentes, dos bens e do ambiente existentes na região do vale a jusante, nomeadamente, por ordem decrescente da gravidade dos danos:

- Classe I: residentes em número igual ou superior a 25;
- Classe II: residentes em número inferior a 25, ou infra-estruturas e instalações importantes, ou bens ambientais de grande valor e dificilmente recuperáveis, ou existência de instalações de produção ou de armazenagem de substâncias perigosas;
- Classe III: as restantes barragens.

O RSB impõe, para as barragens da Classe I, a elaboração do PEI e a especificação dos meios técnicos com vista ao aviso da população afectada na Zona de Auto-Salvamento (ZAS). No que diz respeito a esta última, o RSB define, no Artigo 3º, a ZAS como sendo a zona do vale, imediatamente a jusante da barragem, na qual se considera não haver tempo suficiente para uma adequada intervenção dos serviços e agentes de protecção civil em caso de acidente e que é definida pela distância à barragem que corresponde a um tempo de chegada da onda de inundação igual a meia hora, com o mínimo de 5 km. Na ZAS devem estar definidos os meios de aviso à população, já que este aviso deve ser desencadeado directamente a partir da barragem, sendo o auto-salvamento da população a medida de segurança mais eficaz a promover.

3.6 – Intervenientes no PEI

De acordo com o RSB, enumeram-se os principais intervenientes em caso de emergência e as respectivas responsabilidades:

- DONO DE OBRA é a entidade responsável pela obra perante a Administração Pública, sendo responsável por: i) promover a observação do comportamento da barragem de acordo com o Plano de Observação; ii) organizar e manter actualizado o arquivo técnico da exploração, no qual se inclui o PEI; iii) comunicar à AUTORIDADE ocorrências excepcionais e promover medidas para as remediar; e iv) suportar as despesas originadas pelo controlo da segurança e outros estudos considerados indispensáveis pela AUTORIDADE.

- AUTORIDADE é o Instituto da Água (INAG) que é entendido como organismo central com competência genérica no controlo da segurança de barragens. Em caso

de acidente, a AUTORIDADE deverá nomear uma comissão de inquérito para estudar o sucedido;

- SISTEMA DE PROTECÇÃO CIVIL que deverá assegurar o planeamento de emergência, sobretudo nas zonas potencialmente afectadas pela eventual rotura, devendo coordenar as acções de socorro.

O Sistema de Protecção Civil é composto por:

- Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC) e Delegações Distritais de Protecção Civil cujas autoridades são os Governadores Cívicos;
- Serviços Municipais de Protecção Civil.

De acordo com o Artigo 8º do Decreto-Lei nº 49/2003, de 25 de Março, a protecção civil dispõe ainda de serviços centrais, distritais e de apoio. Destes serviços, e no que interessa ao PEI, são de assinalar:

- O Comando Nacional de Operações de Socorro (CNOS), a nível central;
- Os Comandos Distritais de Operações de Socorro (CDOS), a nível distrital.

O CNOS é um dos serviços centrais da ANPC, sendo a unidade orgânica à qual compete coordenar e acompanhar toda a actividade operacional da ANPC no domínio do socorro, garantir o apoio logístico em situações de emergência e assegurar o desencadeamento das medidas mais adequadas, bem como orientar e apoiar a actividade dos dezoito CDOS que existem a nível distrital e dos Serviços Municipais de Protecção Civil.

O CNOS é dirigido por um comandante operacional nacional, havendo ainda um segundo comandante operacional nacional. Cada CDOS é dirigido por um comandante operacional distrital e por um segundo comandante operacional distrital, existindo ainda um adjunto de operações distrital.

3.6.1 – Ocorrências excepcionais e circunstâncias anómalas

As situações que podem activar um processo de emergência numa barragem e que têm que estar previstas no PEI da barragem, são as seguintes, ver Figura 3.8 (Viseu, 2006):

- eventos externos associados a ocorrências excepcionais naturais exteriores à barragem: sismos ou cheias provocadas por precipitações intensas ou por rotura de barragens a montante ou ainda por ondas induzidas por deslizamentos de encostas na albufeira;
- eventos externos associados a ocorrências excepcionais provocadas pelo homem, como por exemplo, sabotagem ou actos de guerra;
- eventos internos associados a circunstâncias anómalas como por exemplo os assentamentos excessivos ou valores excessivos de caudais percolados.

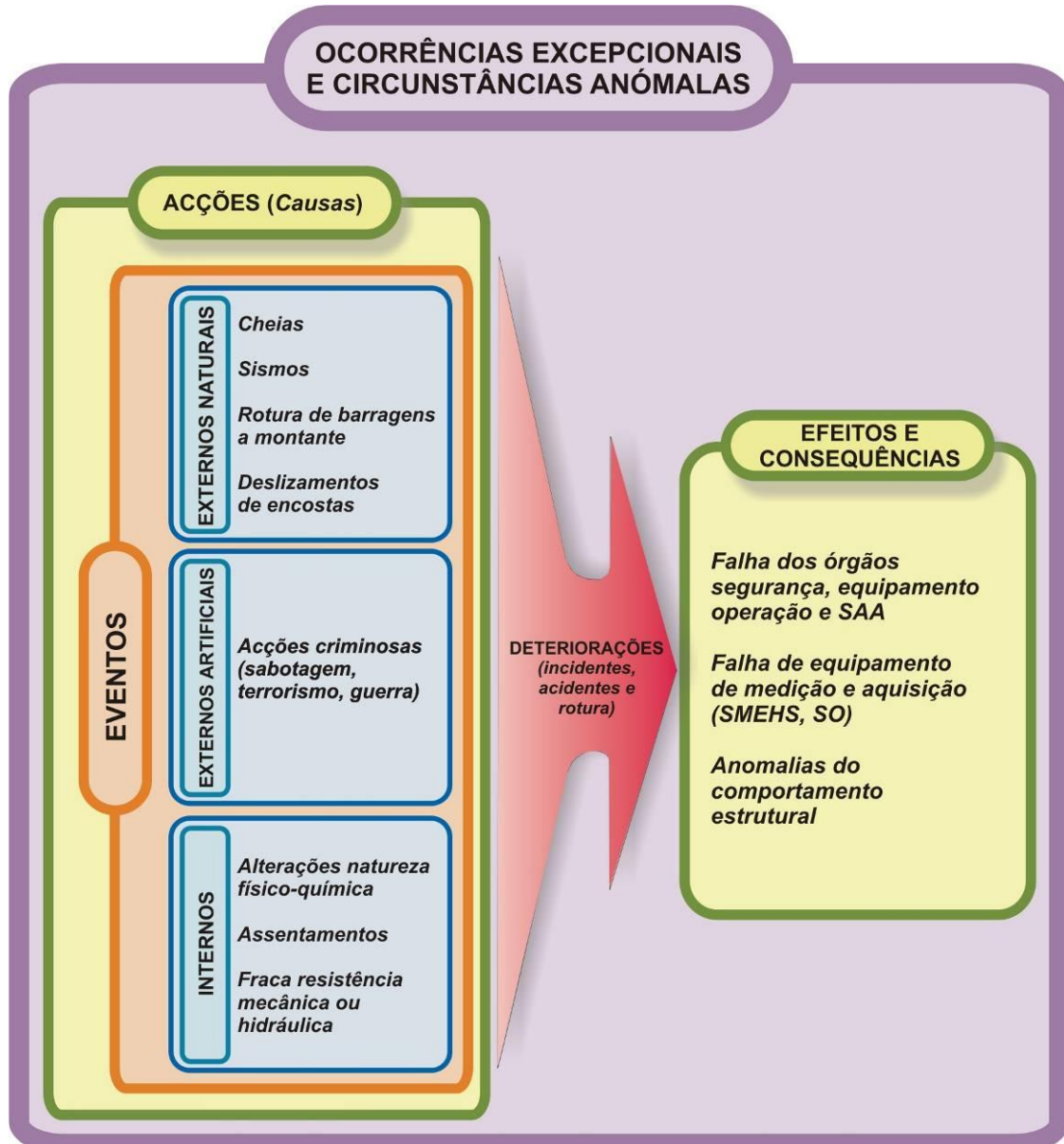


Figura 3.8 – Sistematização dos tipos de ocorrências excepcionais e de circunstâncias anómalas

Fonte: Viseu, 2006

Estes eventos, externos e internos, podem originar deteriorações no corpo da barragem e/ou sua fundação, nos órgãos de segurança e seu equipamento de operação, ou seja, incidentes, que afectam a funcionalidade da barragem, ou acidentes, que afectam a segurança da barragem e do vale a jusante.

Assim o processo de emergência pode ser desencadeado não só pela acção na barragem de eventos externos e internos como pelas respectivas consequências e, em particular, pelas anomalias no comportamento estrutural, pelas falhas dos órgãos de segurança ou dos sistemas de alerta e de aviso assim como em falhas dos equipamentos de medição e aquisição de dados associados aos sistemas de observação da barragem.

3.6.2 – Níveis de alerta

O processo de emergência é efectuado em função do grau de gravidade da ocorrência que se vive na barragem. Em Portugal tem-se vindo a adoptar uma estratégia de planeamento de emergência baseada em quatro níveis de alerta. Estes níveis, com um grau de gravidade crescente, designam-se por níveis Azul, Amarelo, Laranja e Vermelho.

A caracterização genérica das situações que podem desencadear os diversos níveis de alerta constam da Tabela 4 do Anexo I.

Da consulta desta tabela verifica-se que o nível Azul do processo de planeamento de emergência corresponde a situações de incidente declarado, ou previsível, com as seguintes características:

- serem estáveis ou desenvolverem-se muito lentamente no tempo;
- poderem ser controladas na barragem;
- poderem ser ultrapassadas sem consequências nocivas no vale a jusante.

O nível Amarelo do processo de planeamento de emergência corresponde a situações que impõem um estado de prevenção na barragem. As características principais do nível de alerta Amarelo são as seguintes:

- a situação tende a progredir lentamente, viabilizando a realização de estudos para apoio à tomada de decisão;
- existe a convicção de ser possível controlar a situação na barragem, embora se possa vir a necessitar de assistência especial de entidades externas;
- existe a possibilidade da situação se agravar e de se desenvolverem efeitos perigosos no vale a jusante, relativamente a pessoas e bens.

O nível Laranja do processo de planeamento de emergência corresponde a situações que impõem um estado de alerta geral na barragem. As características principais deste nível de alerta são as seguintes:

- a situação tende a progredir rapidamente, podendo não existir tempo disponível para a realização de estudos para apoio à tomada de decisão;
- admite-se não ser possível controlar o acidente, tornando-se indispensável a intervenção de entidades externas;
- existe a possibilidade da situação se agravar com a ocorrência de consequências muito graves no vale a jusante.

No nível Vermelho, a rotura já é visível ou constituiu uma realidade a curto prazo.

3.6.3 – Acções de resposta

Uma vez identificada a ocorrência excepcional ou a circunstância anómala devem ser implementadas na barragem acções de resposta definidas em função do nível de alerta.

Estas acções devem estar pré-definidas no PEI, tal como consta do exemplo da Tabela 5 do Anexo I, para o nível de alerta Vermelho (Viseu, 2006). Da consulta desta tabela verifica-se que as acções de resposta são, basicamente, as seguintes:

- classificar a ocorrência excepcional ou a circunstância anómala por nível de alerta: Azul, Amarelo, Laranja ou Vermelho;
- monitorizar a situação e observar a barragem de acordo com o definido para o nível de alerta escolhido; para a realização destas acções pode eventualmente ser necessário contactar o INAG no que diz respeito a informação sobre escoamentos, e o Instituto de Meteorologia (IM) no que toca a informação sísmica e meteorológica;
- implementar medidas preventivas e/ou correctivas que têm o objectivo de repor o comportamento normal na barragem, ver a Tabela 6 do Anexo I. Essas medidas são implementadas em função do tipo de ocorrência excepcional ou da circunstância anómala identificada: cheia, sismo, anomalia relacionadas com o comportamento estrutural, etc.;
- verificar a operacionalidade dos meios e registar no livro técnico da obra todas as acções adoptadas na resolução do problema;
- notificar os recursos humanos da barragem e o Dono da Obra;
- alertar as entidades intervenientes na gestão da emergência, nomeadamente a AUTORIDADE (INAG) e o Sistema de Protecção Civil a jusante mais concretamente os seus Delegados que dirigem os Serviços Municipais Protecção Civil dos municípios localizados a jusante e o Comandante do CDOS do distrito onde se localiza a barragem;
- avisar a população na ZAS.

Se as medidas preventivas e correctivas surtirem efeito, todas as entidades contactadas previamente deverão ser informadas. Caso contrário, deverá ser declarado um nível de alerta superior que seja considerado adequado.

3.6.4 – Indicadores quantitativos e qualitativos de deterioração

Para definir o nível de alerta é necessário definir os limites que definem os diferentes graus de perigo. Esta definição decorre directamente da realização de inspecções visuais e da exploração do sistema de observação instalado e dos respectivos indicadores sobre o estado de deterioração da barragem.

Note-se que o termo deterioração engloba os conceitos de incidente e acidente, ver Figura 3.9 (Viseu, 2006). Uma deterioração é considerada uma situação que altera ou pode vir a afectar o comportamento previsto da barragem; quando a funcionalidade é afectada dá-se a ocorrência de um incidente; quando a segurança é afectada dá-se a ocorrência de um acidente.

As solicitações na barragem geradas pelos eventos internos e externos podem ocasionar deteriorações na mesma, que são directamente responsáveis pelos efeitos e consequências. No contexto do presente trabalho os “efeitos” e as “consequências”, assim como algumas “acções”, constituem os denominados indicadores de ocorrências excepcionais ou de circunstâncias anómalas na barragem. Mais concretamente verifica-se que:

- os efeitos e as acções que derivam dos eventos externos, monitorizados pelo sistema de observação da barragem, dão origem a grandezas que são mensuráveis pelo que constituem os denominados indicadores quantitativos de eventuais problemas na barragem;
- as consequências da deterioração, detectadas pelas inspecções visuais da barragem, dão origem a alterações “visíveis” a nível da aparência da barragem e dos seus órgãos de segurança. São alguns exemplos essenciais destas alterações os seguintes: a fendilhação, as infiltrações e os deslocamentos. Estas alterações constituem os denominados indicadores qualitativos de eventuais problemas na barragem.

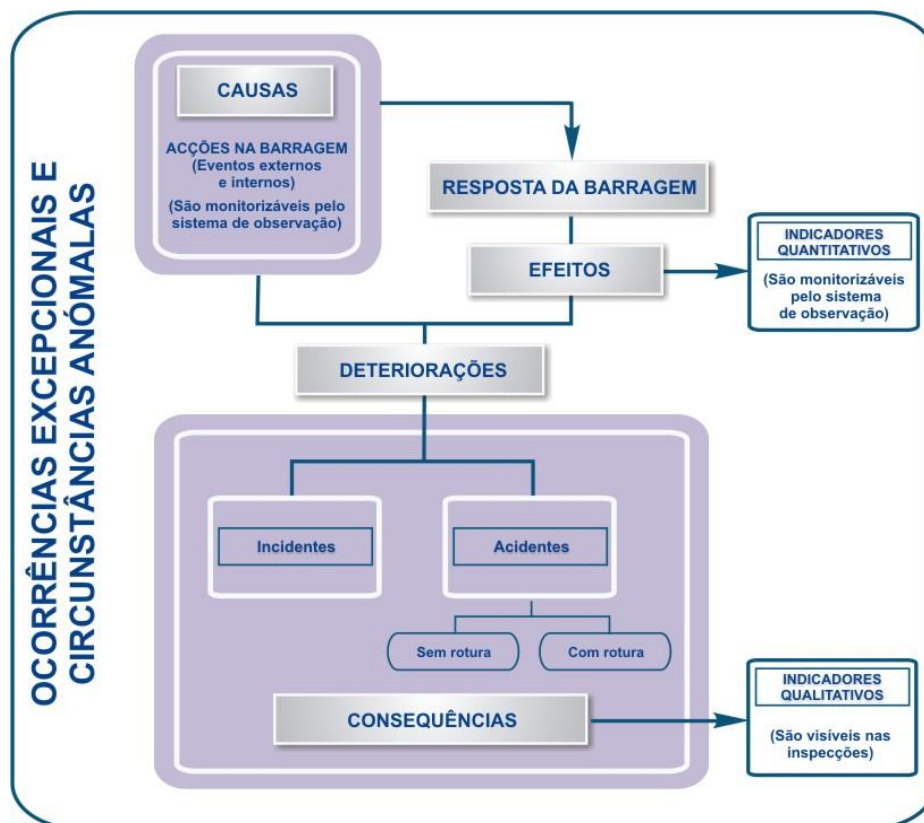


Figura 3.9 – Conceito de “deterioração” adoptado no presente trabalho

Fonte: Viseu, 2006

A Tabela 7 do Anexo I, permite classificar o nível de alerta em função do observado em inspecções visuais de barragens de aterro, ou seja, são utilizados indicadores qualitativos para definir o nível de alerta.

A Tabela 8 do Anexo I, permite classificar o nível de alerta em função dos valores de algumas grandezas registadas pelo sistema de observação, ou seja, definem-se alguns indicadores quantitativos para estabelecer os níveis de alerta.

Da consulta destas duas últimas tabelas verifica-se que há uma determinada facilidade em definir o nível de alerta com base em limites qualitativos e em limites quantitativos associados aos sistemas de monitorização de eventos hidrológicos como por exemplo, catalogar por nível de alerta os diferentes níveis de água na albufeira. No entanto, o mesmo já não se passa com os limites quantitativos associados às grandezas estruturais que resultam do sistema de observação. Com efeito, a definição destes últimos confronta-se com o problema de que qualquer dado anormal num sensor deve ser objecto de um estudo abalizado por parte de um especialista que o deve justificar dentro do comportamento global da obra. Assim, pode decorrer um período de tempo significativo entre a identificação de um processo anómalo e a definição do respectivo nível de gravidade, o qual pode prejudicar a resposta na barragem à emergência.

Desta forma, justifica-se o desenvolvimento de novas tecnologias de apoio à decisão e nomeadamente de instrumentos que utilizem as grandezas registadas pelo sistema de observação para definir, inequivocamente através de valores numéricos, os limites quantitativos que definem os diferentes graus de perigo, ou seja, os limites entre níveis de alerta.

Capítulo 4 – MODELOS BASEADOS EM REDES NEURONAIS

4.1 – Considerações iniciais

A compreensão de comportamento estrutural de barragens é um passo importantíssimo no que diz respeito a segurança das mesmas. Para tal, é preciso dispor-se de modelos capazes de interpretar e prever o seu comportamento. Na concepção destes modelos há que se ter em considerações os diferentes tipos de acções que actuam na estrutura, tanto para as condições de exploração normal das albufeiras como para as situações excepcionais (Mata, 2007).

Na representação de um fenómeno físico relativo a um determinado sistema podem ser utilizados modelos físicos ou matemáticos, tendo estes últimos vindo a generalizar-se com o desenvolvimento dos métodos numéricos e dos meios de cálculo.

Na fase de Projecto de barragens são normalmente utilizados modelos baseados no método dos elementos finitos. Na fase de exploração, recorre-se preferencialmente a modelos de interpretação quantitativa, que se baseiam no tratamento dos resultados do sistema de observação. Estes modelos baseiam-se no estabelecimento de relações entre as acções e as correspondentes respostas das estruturas a partir da análise dos resultados de observação. Neste grupo podem ser incluídas as redes neuronais, objecto deste trabalho.

O presente trabalho constitui um exemplo de aplicação de redes neuronais do tipo Perceptrão Multicamadas a uma barragem de aterro, por forma a interpretar a sua resposta para cenários de diferentes níveis de alerta. De realçar que, de uma forma geral, o comportamento das barragens de aterro tem sido determinado com base em modelos do tipo conceptual e, mais recentemente, em modelos de interpretação quantitativa dos dados da observação.

Com a introdução das redes neuronais pretende-se contribuir para o desenvolvimento de metodologias que complementem as anteriores, na análise do comportamento de barragens de aterro. No caso que será apresentado, serão desenvolvidos indicadores quantitativos para a análise dos caudais percolados através de uma barragem e para a análise das sub-pressões registadas em alguns piezómetros. Tal como foi referido no último capítulo, estes indicadores pretendem ser os valores numéricos que permitirão quantificar os quatro graus de alerta na barragem e permitirão utilizar, a nível do PEI, as grandezas medidas pelo sistema de observação.

4.2 – Breve historial sobre redes neuronais

A ideia subjacente às redes neuronais é de tentar simular, com o maior realismo possível, o funcionamento do cérebro humano e transpor esses conhecimentos para os sistemas computacionais. Estes terão, por sua vez, capacidades “análogas” às do cérebro e, em especial, serão capazes de aprender, fazer generalizações e descobertas (Histórico, n.d). As comparações entre o desempenho do cérebro humano e o computador e entre este último e o neurocomputador estão patentes nos Quadros 4.1 e 4.2.

Quadro 4.1 – Quadro comparativo entre cérebro e o computador
Fonte: www.din.uem.br/ia/neurais/#Resumo

Parâmetro	Cérebro	Computador
Material	Orgânico	Metal e plástico
Velocidade	Milisegundos	Nanosegundos
Tipo de Processamento	Paralelo	Sequencial
Armazenamento	Adaptativo	Estático
Controlo de Processos	Distribuído	Centralizado
Número de elementos processados	10^{11} a 10^{14}	10^5 a 10^6
Ligações entre elementos processados	10.000	<10

Quadro 4.2 – Quadro comparativo entre computadores e neurocomputadores
Fonte: www.din.uem.br/ia/neurais/#Resumo

Computadores	Neurocomputadores
Executa programas	Apreende
Executa operações lógicas	Executa operações não lógicas, transformações, comparações
Depende do modelo ou do programador	Descobre as relações ou regras dos dados exemplos
Testa uma hipótese por vez	Testa todas as possibilidades em paralelo

Os primeiros relatos sobre a neuro-computação surgiram na década de 40, nos artigos publicados de McCulloch e Pitts. Estes dois autores sugeriram, pela primeira vez na história, a construção de uma máquina inspirada no cérebro humano. Na senda do trabalho destes autores, vários outros artigos foram publicados mas não atraíram grande atenção da comunidade científica. Finalmente, em 1949, Donald Hebb publica um livro intitulado – A Organização do Comportamento «The Organization of Behavior», onde defende a ideia de que o condicionamento psicológico clássico está presente nos animais pelo facto deste ser

uma propriedade de neurónios individuais. Hebb propôs ainda a lei de aprendizagem específica para as sinapses dos neurónios, que se tratou, na época, de uma lei revolucionária.

Dois anos depois, Marvin Minsky construiu o primeiro neuro-computador, denominado Snark. O computador Snark, que operava com sucesso, foi uma grande motivação para o aparecimento das novas máquinas que o sucederam. Em 1958, Frank Rosenblatt e Charles Wightman criaram o neuro-computador “Mark I Perceptron”, que se revelou ser o computador melhor sucedido da época. Mais tarde, Rosenblatt e Bernard Widrow, juntamente com alguns estudantes, desenvolveram um novo tipo de elemento de processamento de redes neuronais chamado Adaline, que dispunha de uma lei de aprendizagem muito sofisticada.

Após esta data seguiu-se um período de grande entusiasmo, surgindo muitas publicações com previsões pouco fiáveis, o que acabou por retirar toda a credibilidade dos estudos nesta área, causando algum desconforto no meio técnico-científico e acabando por diminuir um pouco a investigação realizada.

Ultrapassado esse período de descrença, seguiu-se um outro, compreendido entre os anos de 1967 a 1982, em que houve uma retoma dos estudos neste âmbito. Assim, embora tenham sido feitas poucas publicações, este período pode ser considerado como o do renascimento dos estudos nesta área.

A partir de então começaram a aparecer outras propostas de exploração e desenvolvimento de redes neuronais, tendo vindo a aparecer as primeiras grandes referências neste campo da ciência, tais como a «Defense Advanced Research Projects Agency» (DARPA). Em particular, os trabalhos do físico de reputação mundial John Hopfield deram origem a desenvolvimentos significativos.

A ciência de neuro-computação, ou seja, as redes neuronais artificiais, ganharam uma grande expressão nos tempos modernos graças à publicação do livro «Parallel Distributed Processing», Processamento Paralelo Distribuído, editado por David Rumelhart e James McClelland em 1986.

Desde então, têm ocorrido várias conferências sobre este tema. Em 1987, assistiu-se à criação da denominada «International Neural Networks Society» (INNS), na senda da qual foram criadas revistas de investigação como o INNS Journal, em 1989, o Neural Computation e o IEEE Transactions on Neural Networks, estes últimos fundados em 1990 (Histórico das Redes, n.d.).

Actualmente, existem inúmeras áreas de aplicação prática da inteligência artificial, sendo de realçar as seguintes (Estudo sobre inteligência artificial, n.d.):

- sistemas periciais;
- planeamento;
- visão computacional;
- xadrez;
- fala;
- sinergias, etc..

4.3 – Paralelismo Neurónio biológico – Neurónio artificial

4.3.1 – Neurónio biológico

O cérebro humano é um sistema extremamente complexo, que detêm uma grande capacidade de processamento e armazenamento de informação. É o sistema mais eficaz até hoje conhecido no que diz respeito à capacidade de execução de tarefas cognitivas.

O nosso cérebro é composto por aproximadamente dez bilhões de neurónios que se interligam uns aos outros através de sinápses formando uma grande rede chamada “rede neuronal”. Têm sido dispendidos grandes esforços, no desenvolvimento de modelos com algumas semelhanças com a rede neuronal, a fim de compreender melhor o funcionamento do cérebro humano mas os avanços não têm sido significativos, devido à grande complexidade deste último.

No que diz respeito aos neurónios, a sua forma e tamanho podem ser muito variáveis. No entanto, todos apresentam a seguinte constituição: um corpo celular, as dendrites e o axónio. A Figura 4.1 representa o esquema de um neurónio biológico.

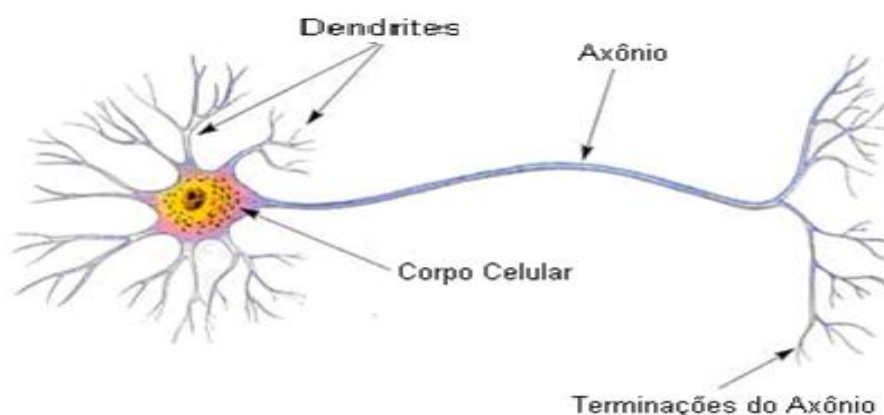


Figura 4.1 – Esquema de um neurónio biológico

Fonte: Adaptado de <http://200.181.104.20:8080/Monografia2/monografia/detalhes?sort=curso&order=asc>

As **dendrites** são ramificações que partem do corpo central e tem a função de receber estímulos de outros neurónios através da ligação sináptica.

O **corpo celular** é a componente que se encarrega de todo o processo de metabolismo que ocorre no neurónio.

O **axónio** é a componente responsável pela transmissão de impulsos para os outros neurónios. É constituído por uma fibra tubular capaz de atingir alguns metros.

As **sinapses** são as ligações entre os axónios e as dendrites através da qual os estímulos/impulsos passam de uma célula para outra. Elas são classificadas de excitadoras ou inibidoras de acordo com o aumento ou diminuição da intensidade de passagem de informação nas dendrites a que lhes estão ligadas.

O sistema nervoso, composto por células nervosas ou seja neurónios, actua em conjunto com o sistema endócrino controlando todas as funções e movimentos do nosso organismo. Os neurónios estabelecem comunicação entre si através de ligações sinápticas. As dendrites recebem os impulsos e canaliza-os ao corpo celular onde são processados, produzindo uma substância neurotransmissora. A informação é processada e armazenada até se atingir o limiar de disparo, altura em que é disparado um segundo impulso para o axónio. Este, por sua vez, transmite a informação através da ligação sináptica à dendrite de outra célula com a qual faz a ligação.

4.3.2 – Neurónio artificial

O modelo simplificado do neurónio biológico, ou seja, o neurónio artificial é uma estrutura lógico-matemática que tenta simular um neurónio vivo na sua forma, comportamento e funções. Todos os constituintes básicos de um neurónio biológico são recriados na célula artificial. As dendrites são substituídas pelas entradas que fazem a ligação ao corpo central artificial através dos pesos que substituem as sinapses nas células vivas. No neurónio artificial, os estímulos são captados pelas entradas e processados pela função de soma. O limiar de disparo do neurónio biológico foi substituído por uma função de transferência. De uma forma geral pode-se dizer que estas duas componentes, função de soma e função de transferência, substituem a componente denominada de corpo celular na célula biológica. A Figura 4.2 ilustra um neurónio artificial criado por Warren S. McCulloch e Walter H. Pitts.

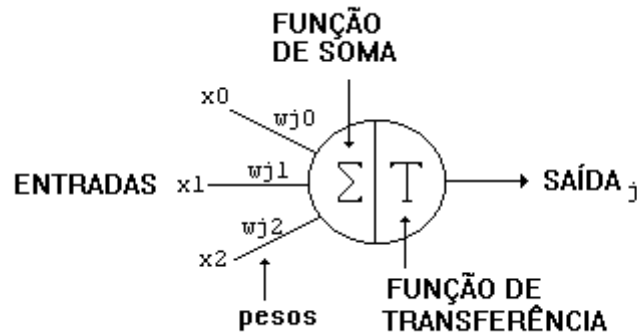


Figura 4.2 – Modelo artificial de um neurónio biológico
 Fonte: <http://fu2re.wordpress.com/2009/06/16/neuronio/>

O neurónio é, assim, o elemento principal de uma rede neuronal, sendo o local onde se desenrola todo o processo de conhecimento. De acordo com McCulloch e Pitts, o neurónio é composto por um conjunto de entradas (v_1, v_2, \dots, v_n), uma unidade de processamento S_i , uma função de activação não linear, f_i , e uma saída O_i . Cada entrada j recebe um estímulo v_j que é ponderado pelo peso w_{ij} (Faraco, Pires, & Borges, 1998).

As informações que chegam aos neurónios das camadas intermédias são processadas na unidade de processamento pela função de soma e pela função de activação e depois são transferidas para a camada de saída onde serão produzidas respostas/saídas que traduzem o conhecimento adquirido da rede.

A função de soma representa o total do sinal que entra na zona de processamento de um neurónio artificial, sendo calculada pelo somatório do produto entre os pesos e as respectivas entradas, e é dada pela expressão:

$$S = \sum_{n=1}^m x_n * w_n$$

em que:

X_n — são as entradas

W_n — são os pesos

Existem algumas variedades de funções de activação, sendo umas de uso mais generalizado do que outras. A Figura 4.3 ilustra algumas das funções de activação mais utilizadas com as suas respectivas curvas, destacando-se a função sigmoidal por esta ser função utilizada na rede criada.


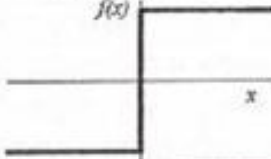
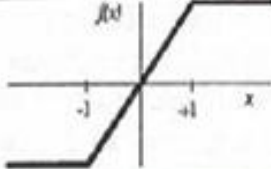
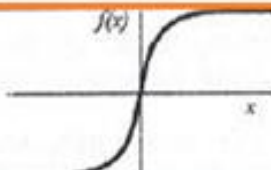
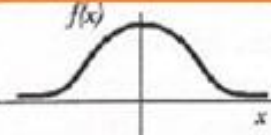
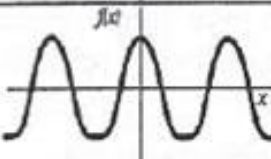
	Função	Interv. Saída	Gráfico
Função Identidade	$y = x$	$[-\infty, +\infty]$	
Função Escada	$y = \text{sign}(x)$ $y = H(x)$	$\{-1, +1\}$ $\{0, +1\}$	
Função Linear Limitada	$y = \begin{cases} -1, & \text{si } x < -1 \\ x, & \text{si } -1 \leq x \leq 1 \\ +1, & \text{si } x > 1 \end{cases}$	$[-1, +1]$	
Função Sigmoidal	$y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ $y = \text{tgh}(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	
Função Gaussiana	$y = Ae^{-ax^2}$	$[0, +1]$	
Função Sinusoidal	$y = A \sin(\omega x + \varphi)$	$[-1, +1]$	

Figura 4.3 – Funções de activação mais comuns

Fonte: adaptado de http://es.tldp.org/Presentaciones/200304curso-glisa/redes_neuronales/curso-glisa-redes_neuronales.pdf

4.4 – Modelação de rede neuronal artificial

Existem vários tipos de redes neuronais artificiais. A classificação das redes neuronais artificiais é feita respeitando alguns critérios, dos quais os mais habituais são: a arquitectura da rede e o tipo de aprendizagem da rede (Burgos, n.d.).

Assim, respeitando o critério da arquitectura, existem redes acíclicas «feedforward» que são aquelas em que os neurónios de uma camada só se ligam aos neurónios da camada

seguinte, circulando a informação num único sentido. Neste caso, a rede não apresenta ciclos na sua arquitectura. Por outro lado, com características contrárias às redes acíclicas, existem as redes cíclicas «feedback» também designada por alguns autores por redes recorrentes «recurent», Figura 4.4.

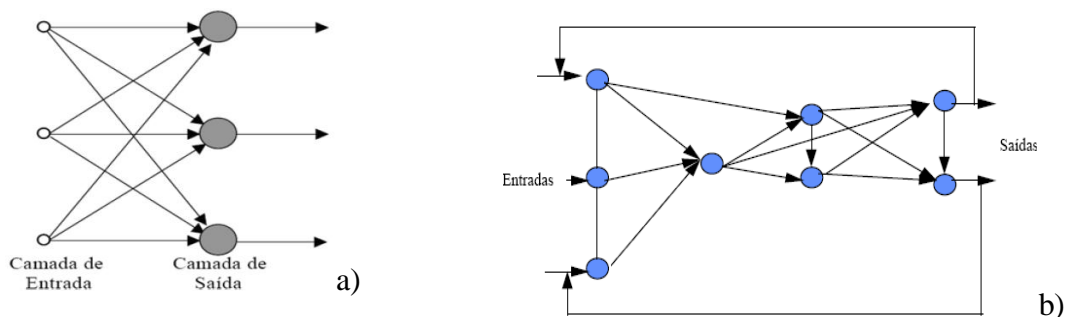


Figura 4.4 – a) Rede acíclica «feedforward» e b) Rede cíclica «feedback» ou recorrente
Fonte: <http://200.181.104.20:8080/Monografia2/monografia/detalhes?sort=curso&order=asc>

O outro critério seguido para a classificação da rede está relacionado com tipo de aprendizagem. Neste caso, é possível verificar que existem os seguintes tipos de redes (Burgos, 2003):

- redes de aprendizagem supervisionadas, em que é apresentado à rede um conjunto de padrões de entrada, simultaneamente com as saídas desejadas durante a aprendizagem e com os ajustes dos pesos ao longo do treino; neste caso, existe um agente externo que indica à rede um comportamento bom ou mau de acordo com o padrão de entrada;
- redes de aprendizagem não supervisionadas, ou seja, auto-organizadas, em que se apresenta à rede um conjunto de padrões de entrada sem a saída desejada; a rede reconhece a regularidade nos dados apresentados, utilizando uma função de densidade de probabilidade;
- redes de aprendizagem híbridas, que são uma mistura dos dois tipos de redes já descritos e onde os diferentes tipos de aprendizagem, supervisionada e não supervisionada, se distribuem por camadas da rede;
- redes de aprendizagem reforçada, em que se combina o modo de aprendizagem supervisionado e auto-organizado.

No processo de aprendizagem a rede utiliza os chamados algoritmos de aprendizagem, que podem ser vistos como algoritmos de optimização que promovem a minimização da função erro, definida em relação aos valores esperados na saída, respeitando os limites de tolerância pré-fixados.

Existem algumas variedades de técnicas de minimização da função erro disponíveis, como por exemplo: os algoritmos de Boltzmann, de «back-propagation» e de «simulated annealing» bem como algoritmos baseados na cadeia de Markov e a regra delta. A descrição, em detalhe da generalidade destas regras sai fora do âmbito deste trabalho, ficando aqui apenas a referência à sua existência.

De entre os algoritmos exemplificados, vai ser dada uma maior atenção ao algoritmo de «back-propagation», uma vez que este foi o algoritmo utilizado na rede neuronal desenvolvida no presente trabalho.

Este tipo de algoritmo é considerado como sendo uma generalização do algoritmo de aprendizagem de Widrow e Hoff, denominado «last mean square», também conhecido por Regra Delta (Faraco et al., 1998).

O algoritmo de «back-propagation» consiste em duas fases distintas. A fase «forward» inicia-se na camada de entrada C_0 e propaga-se para as camadas C_i ($i > 0$). Após os neurónios da camada C_i calcularem os sinais de saída, estes servem como entrada para a definição das saídas produzidas pelos neurónios da camada C_{i+1} . Depois são comparadas as saídas produzidas pelos neurónios da última camada com as saídas desejadas.

A fase «backward» inicia-se na última camada e termina na camada entrada. Neste percurso os neurónios da camada de partida ajustam os seus pesos de forma a reduzir os erros. O erro de um neurónio da camada intermédia é calculado utilizando os erros dos neurónios da camada seguinte, à qual está ligada, ponderado pelos pesos das conexões entre eles (Thomé & Oliveira, 2002).

O algoritmo de treino «back-propagation» enquadra-se na categoria de aprendizagem supervisionada, onde o desempenho da rede é controlado por uma função de erro, que considera, para um conjunto de diversos padrões p de entradas apresentada, o quadrado da diferença entre o valor esperado e a respectiva saída calculada, ou seja, o erro é o somatório dos erros quadráticos, dado pela seguinte expressão:

$$E = \sum_{i,p} E_i^p = \frac{1}{2} \sum_{i,p} (d_i^p - o_i^p)^2$$

em que:

E_i^p - representa o erro no i -ésimo elemento neural, para o p -ésimo padrão de entrada,

d_i^p - representa a saída esperada no i -ésimo elemento neural, para o p -ésimo padrão de entrada
e p é a saída

O_i^p - representa a saída produzida, sendo traduzida pela expressão:

$$O_i^p = f(a_i^p) = f \left[\sum_j w_{ij} v_i^p - O_i \right]$$

em que:

v_i^p - é a j-ésima componente do padrão de entrada V_p .

w_{ij} - peso

O algoritmo “back-propagation” utiliza a técnica do gradiente descendente para a minimização da função de erro actuando nos pesos sinápticos. Neste método, os valores dos pesos são modificados proporcionalmente ao oposto da derivada do erro, de acordo com a seguinte expressão:

$$\Delta w_{ij} = -\gamma \frac{\partial E_i^p}{\partial w_{ij}}$$

em que:

γ - representa a taxa de aprendizagem, que permite estabelecer a velocidade com que se dá o ajuste.

O cálculo do erro nas camadas intermédias ou ocultas segue o mesmo processo de cálculo de erro para as camadas de respostas (Faraco et al., 1998).

4.5 – Rede neuronal desenvolvida

4.5.1 – Plataformas disponíveis de redes neuronais

Existem actualmente no mercado várias plataformas para desenvolvimento de modelos de redes neuronais, algumas de acesso livre. No presente trabalho foram consideradas as seguintes hipótese:

- MATLAB Neural Network Toolbox 7.0 da mathworks (<http://www.mathworks.com/products/neuralnet/>);
- Simbrain (<http://www.simbrain.net/>);
- Neuroph (<http://neuroph.sourceforge.net/>).

Escolheu-se neste trabalho a plataforma Neuroph. Trata-se de uma plataforma que permite o desenvolvimento, em linguagem Java, de arquitecturas usuais de redes neuronais. Inclui uma biblioteca Java em regime de licenciamento aberto «open source» e um editor que

permite a geração rápida de redes neuronais. A versão utilizada é gratuita, de acordo com uma licença Apache 2.0.

4.5.2 – O modelo ALBATROZ

A aplicação de redes neuronais ao campo da observação e controlo de segurança de barragens de aterro foi materializada no presente trabalho pelo desenvolvimento, em linguagem Java, de um modelo específico, denominado de modelo ALBATROZ.

O exemplo escolhido para aplicação deste modelo é a barragem de Valtorno/Mourão. A escolha desta barragem como caso de estudo, deve-se, em particular, ao facto de existir um número significativo de dados de observação disponíveis e de esta barragem ter tido alguns problemas de comportamento, o que permitiu verificar o desempenho do modelo desenvolvido para um leque mais alargado de níveis de alerta. Com efeito, se se escolhesse como caso de estudo uma barragem com um comportamento adequado ao longo do tempo e sem evidenciar a ocorrência de situações anómalas, apenas ocorreria na barragem o nível de alerta mais baixo (azul). Por outro lado, a existência de um volume significativo de dados disponíveis é importante na avaliação do comportamento da barragem em termos de segurança e funcionalidade e também para o treino da rede.

Foi, assim, desenvolvida para a barragem de Valtorno/Mourão uma rede neuronal do tipo Perceptrão Multicamada. A estrutura de organização desta rede apresenta uma ligação unidireccional dos neurónios, da esquerda para a direita, que se distribuem por três camadas principais: de entrada, intermédia ou escondida e de saída, Figura 4.5. O modelo ALBATROZ é composto por sete neurónios na camada de entrada, vinte neurónios na camada intermédia e quatro na camada de saída.

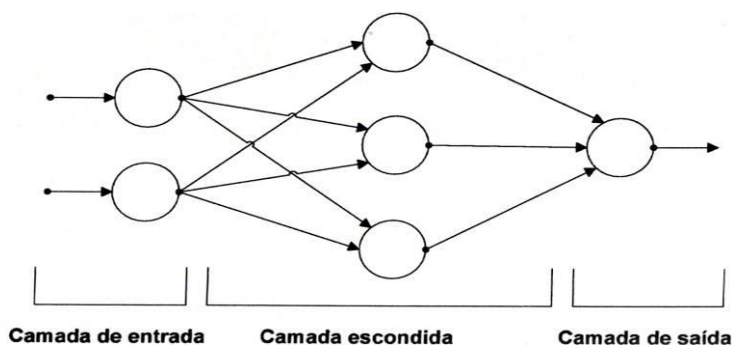


Figura 4.5 – Arquitectura de uma rede neuronal Perceptrão Multicamada
Fonte: Mata, 2007

A rede desenvolvida apresenta, igualmente, o tipo de aprendizagem supervisionada, visto que é lhe apresentado um conjunto de padrões de entrada e as respectivas saídas

desejadas. Assim, a rede “aprende” com os exemplos apresentados gerando uma representação do problema. O modelo utiliza o algoritmo de treino back-propagation. O treino consiste num processo iterativo de ajuste dos pesos, de forma a minimizar os erros nos resultados.

A camada de entrada é a camada que recebe e difunde as informações para as camadas seguintes, sendo, no caso do modelo ALBATROZ, composta por sete neurónios, correspondendo às seguintes grandezas, ver Figura 4.6:

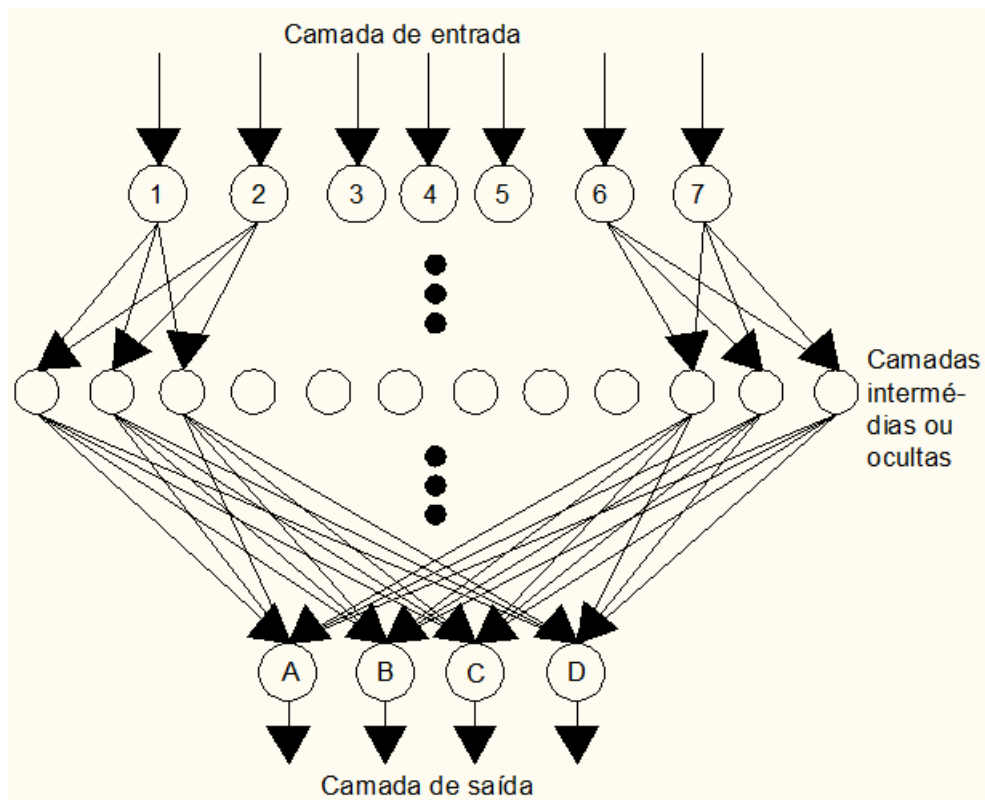
- nível da água na albufeira;
- cota piezométrica em três piezómetros localizados na fundação;
- carga registada num piezómetro localizado no maciço de jusante;
- caudal total percolado através da barragem.
- caudal relativo percolado através da barragem (relação entre o caudal e a altura de água a montante).

A camada intermédia permite a resolução dos problemas, ou seja, trabalha as informações que chegam, geralmente de características não lineares. No caso do modelo ALBATROZ esta camada é composta por vinte neurónios, tendo sido testadas outras configurações.

Finalmente, a camada de saída, onde é apresentado o resultado final, sendo, assim, a camada responsável pela apresentação da resposta da rede. No caso do modelo ALBATROZ esta camada apresenta quatro neurónios que são os diagnósticos sobre o comportamento da barragem. Da consulta da Figura 4.6, verifica-se que foram definidos os seguintes neurónios de saída:

- classificação do grau de gravidade associado à variável caudal;
- classificação do grau de gravidade associado à pressão na fundação;
- classificação do grau de gravidade associado à pressão no maciço de jusante;
- classificação do nível de alerta.

No Anexo II apresentam-se o fluxograma e o algoritmo do modelo ALBATROZ.



Legenda:

- 1- Entrada do nível da albufeira (m)
- 2- Entrada da cota piezométrica do piezómetro de fundação $PH_{1/4}$ (m)
- 3- Entrada da cota piezométrica do piezómetro de fundação $PH_{4/4}$ (m)
- 4- Entrada da cota piezométrica do piezómetro de fundação $PH_{7/4}$ (m)
- 5- Entrada da carga do piezómetro do maciço de jusante $PH_{8/4}$ (m)
- 6- Entrada do caudal total (l/s)
- 7- Entrada do caudal relativo (l/s)

- A- Saída da classificação do caudal
- B- Saída da classificação de pressão na fundação
- C- Saída da classificação de pressão no maciço de jusante
- D- Saída da classificação do nível de alerta na barragem

Figura 4.6 – Arquitectura da rede neuronal desenvolvida

4.5.3 – Critérios utilizados para classificação dos neurónios de saída

O diagnóstico sobre o comportamento da barragem é feito com base nos valores assumidos pelos neurónios na camada de saída da rede neuronal desenvolvida e tem por base os valores previstos pelo modelo de elementos finitos que traduz o comportamento da barragem de Valtorno/Mourão; como se verá no ponto 5.4.2; e o especificado para definir os nível de alerta para as barragens portuguesas pela ANPC.

Assim, os valores que os três primeiros neurónios de saída podem assumir são valores numéricos, compreendidos entre os valores 0 e 1. O valor 0 representa uma classificação “normal” para os valores de caudal percolado ou das pressões na fundação ou no maciço de jusante; o valor 1, representa, para estas últimas grandezas uma classificação de valores “desadequados”.

Para o último neurónio de saída, nível de alerta na barragem, adoptou-se uma convenção diferente. Assim, ter-se-á:

- para valores compreendidos entre 0 e 0.75, a barragem apresenta um comportamento associado ao nível de alerta azul, ou seja, uma classificação do nível de alerta 0;
- para valores compreendidos entre 0.75 e 1.5, a barragem apresenta um comportamento associado ao nível de alerta amarelo ou seja, uma classificação do nível de alerta 1;
- para valores compreendidos entre 1.5 e 2.25, a barragem apresenta um comportamento associado ao nível de alerta laranja ou seja, uma classificação do nível de alerta 2;
- para valores compreendidos entre 2.25 e 3, a barragem apresenta um comportamento associado ao nível de alerta vermelho ou seja, uma classificação do nível de alerta 3.

De acordo com o comportamento obtido, sempre que se justifique, são tomadas medidas correctivas no sentido de repor um comportamento normal na barragem.

Capítulo 5 – CASO DE ESTUDO – A BARRAGEM DE VALTORNO/MOURÃO

5.1 – Caracterização da barragem

A barragem de Valtorno/Mourão, Figura 5.1, localiza-se em Trás-os-Montes no concelho de Vila Flor e foi inaugurada em Maio de 2006. A sua construção foi uma solução encontrada para os problemas de fornecimento de água ao concelho de Vila Flor e, posteriormente, servir de reforço às afluições da barragem de Fonte Longa no concelho de Carrazeda de Ansiães (Ondas3, 2006).



Figura 5.1 – Vista montante a) e jusante b) da barragem de Valtorno/Mourão
Fonte: (Marcelino 2010).

A barragem de Valtorno/Mourão intersecta a ribeira de Valtorno e foi projectada para um volume de encaixe de $1,12 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água. A barragem tem uma altura máxima acima da fundação de 32 m, sendo constituída por um perfil homogéneo à base de xistos e granitos, ambos materiais alterados, provenientes das manchas de empréstimo na zona da albufeira. O Desenho 1 do Anexo III apresenta uma planta da barragem.

O coroamento desenvolve-se segundo um alinhamento recto numa extensão de 150 m e apresenta uma largura de 6 m. O paramento de montante apresenta uma inclinação de 1:3,5 e o paramento jusante uma inclinação de 1:2, com uma banquetas de 4 m de largura à cota 453 m.

O Nível de Pleno Armazenamento (NPA) situa-se à cota 467 m e o Nível de Máxima Cheia (NMC) à cota 468 m. Durante a elaboração do plano de primeiro enchimento decorreu

uma alteração que consistiu no alteamento da cota do coroamento da barragem. Este alteamento foi conseguido pela construção de um muro em betão com a forma de “L”. A cota máxima desse muro é de 469,7 m.

A barragem assenta a sua fundação sobre um material rochoso, constituído essencialmente por xistos e granitos. Os xistos ocorrem em toda a margem direita e, na margem esquerda, a montante do plinto, manifestando-se muito alterado ao longo da margem direita.

Na margem esquerda, a jusante do plinto, o material rochoso é composto por granitos. No fundo do vale, sobre o substrato rochoso já referido, ocorrem formações aluvionares constituídas fundamentalmente por uma camada de godo que chega a atingir os 9 m de profundidade (Marcelino, 2005).

5.2 – Descrição e tratamento dos problemas verificados na barragem

5.2.1 – Identificação do problema

Após a fase de construção da barragem e depois da inspecção prévia realizadas pelo LNEC e pelo INAG passou-se então a fase do enchimento da respectiva albufeira.

Para o enchimento da albufeira foi elaborado um plano de primeiro enchimento onde foram, em particular, tidos em consideração os aspectos relacionados com a segurança, regime de afluências, capacidade da albufeira, a altura máxima da barragem, a sua localização, e a necessidade de armazenamento de água para o abastecimento.

Tendo em conta os aspectos referidos e cumprindo as condições de segurança pretendidas, achou-se conveniente preconizar um patamar intermédio para o primeiro enchimento à cota 459 m. Este primeiro patamar de enchimento representa cerca de 72% da carga máxima da barragem e cerca de 41% ($0,461 \times 10^6 \text{ m}^3$) do volume de água correspondente ao NPA ($1,12 \times 10^6 \text{ m}^3$).

A albufeira foi mantida a essa cota durante dois meses, período estritamente necessário para a avaliação do desempenho estrutural e hidráulico da barragem.

Ao longo destes dois meses foram feitas diversas campanhas de observação que permitiram acompanhar o comportamento da barragem. Nos primeiros dias de enchimento, sob o ponto de vista dos deslocamentos superficiais medidos nas marcas, o comportamento da barragem afigurou-se adequado, como se poder ver na Figura 5.2.

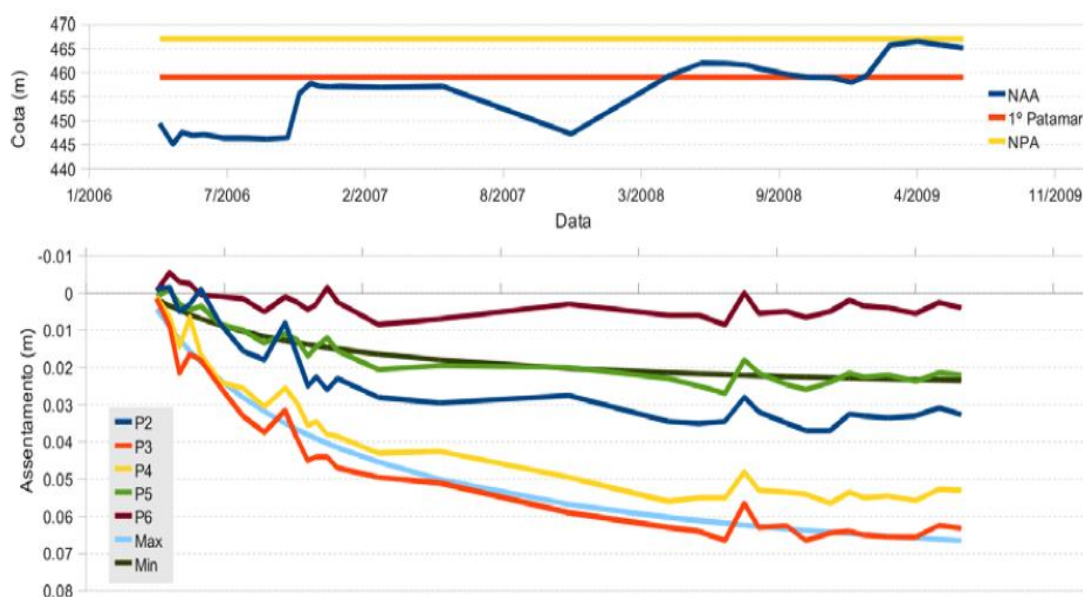


Figura 5.2 – Assentamentos observados no coroamento da barragem
Fonte: (Marcelino et al, 2008).

No que diz respeito aos caudais percolados, e como se vê na Figura 5.3, registaram-se valores muito elevados, cerca de 10 vezes superiores aos valores previstos no plano de observação.

Com efeito, de acordo com o cálculo de percolação efectuada através do método dos elementos finitos, estimava-se para o NPA, um caudal de 2,6 l/s. No entanto, chegou a ser registado caudal superior a 20 l/s, no primeiro patamar de enchimento. Desta forma, e estabelecendo um modelo de análise quantitativa para os caudais em função do Nível da Água na Albufeira (NAA) e do tempo, obtém-se, sendo N o número de dias de enchimento, a seguinte expressão:

$$Q(l/s) = 0,7799 - 0,018N + 1,607(NAA - 446)$$

Para o NPA, o modelo permitia estimar um caudal de 30 l/s. Nestas condições, a barragem perderia através da fundação, num período de um ano, praticamente o total da sua capacidade de armazenamento.

Também ocorreram outros sintomas que davam indicações de um comportamento deficiente da fundação, nomeadamente, os elevados níveis piezométricos a jusante do núcleo. Por outro lado, existiam também piezómetros acima do tapete drenante que acusavam a presença de alguma pressão, quando essa situação não deveria ocorrer.

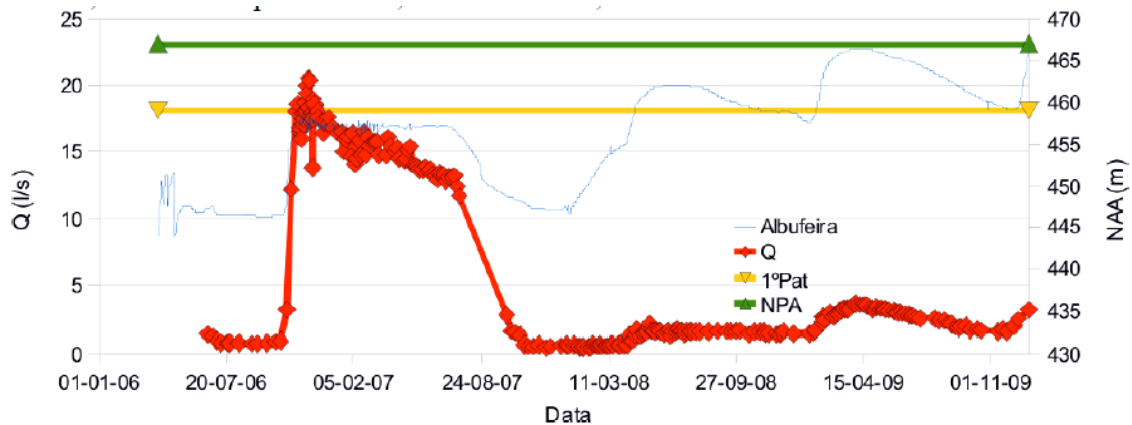


Figura 5.3 – Caudais percolados registados durante o primeiro enchimento da barragem

Fonte: (Marcelino et al., 2008).

Perante o comportamento verificado na barragem, foi feito um diagnóstico pelo LNEC, Projectista e a Autoridade, onde se concluiu que a cortina de injeções não estava a desempenhar as suas funções. Foi, assim, considerado indispensável interromper o primeiro enchimento da barragem de forma a executar obras de reforço de impermeabilização da fundação (Marcelino et al., 2010).

5.2.2 – Tratamento de reforço da impermeabilização

O reforço da impermeabilização da fundação da barragem foi conseguido com a injeção de caldas de cimento ao longo da cortina principal numa extensão de 170 m, entre os encontros direito e esquerdo e com uma altura variando entre 15 m no fundo do vale e vertente esquerda e 30 m na vertente direita. No total foi tratada uma superfície de 3200 m² formada por uma cortina principal e a zona sob o descarregador de cheias, (Marcelino et. al, 2010).

As injeções foram realizadas respeitando o método das aproximações sucessivas, e foram executadas em duas fases. Numa primeira fase fez-se a injeção nos furos primários e secundários, como previsto no projecto, e em alguns furos de reforço nos encontros, onde se detectou um maciço bastante descomprimido e com fendas abertas. Ao longo dos trabalhos deparou-se com algumas dificuldades em obter “nega” ao mesmo tempo que o consumo do cimento aumentava, em resultado da má qualidade do maciço de fundação. Foi então feita uma interrupção do tratamento adiando a sua continuação para uma 2ª fase com as injeções de furos terciários e quaternários implantados nas zonas mais críticas situadas próximo do contacto com os aterros, identificadas em ambas as vertentes pelo zonamento geotécnico efectuado. A minimização do consumo do cimento na injeção dos furos quaternários da

cortina de impermeabilização e na injeção dos últimos furos à entrada do descarregador foi conseguida graças ao uso do silicato de sódio para acelerar a presa da calda de cimento.

Foi prolongada a cortina principal do lado do encontro direito, para além do descarregador de cheias, o que obrigou à execução de trabalhos específicos já que se estava em presença de um dreno longitudinal que percorria, de montante para jusante, toda a fundação deste órgão de descarga. Foi necessário cortar o dreno na zona da cortina e realizar a impermeabilização do maciço sob o descarregador com injeções pontuais, pelo método dos “tubos à manchete”, efectuadas em 9 furos com disposição em leque, designada em obra por “mini cortina”. O corte do dreno longitudinal do descarregador de cheias obrigou à amarração da estrutura de entrada ao maciço rochoso com pregagens definitivas protegidas contra a corrosão, conferindo assim a estabilidade à aquela estrutura.

À medida que se prosseguia o tratamento de reforço de impermeabilização da fundação eram recolhidas algumas informações, de um zonamento geotécnico do maciço de fundação criado com o propósito de verificar os efeitos dos tratamentos efectuados.

Através do zonamento geotécnico do maciço de fundação, foram individualizadas as zonas mais críticas da cortina que exigiam abordagens particulares nos procedimentos de injeção.

Para o zonamento, considerou-se a área total da cortina que foi dividida em 6 zonas geotécnicas. Como se pode ver nos cortes que se encontram no Anexo III Desenho 32) e 3), as zonas A, B e C situam-se na vertente direita, a zona D no fundo do vale e as zonas E e F na vertente esquerda. As áreas parciais correspondentes a cada uma das zonas estão indicadas no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Áreas das Zonas Geotécnicas

Fonte: (Marcelino et al, 2010).

Zona geotécnica	A	B	C	D	E	F	Total
Área parcial (m ²)	310	250	1140	52	400	580	3200
Percentagem	0	0	0	0	0	0	0

As zonas A e E, foram zonas onde foi difícil atingir a pressão pretendida ou a “nega” e onde houve um grande consumo de cimento por serem zonas de maiores permeabilidades. A zona B, que representa 30% da cortina, foi a zona onde se verificou menor permeabilidade e consequentemente zona onde se gastou menor quantidade de cimento.

As zonas mais permeáveis, onde se observaram maiores consumos de cimento e dificuldades em atingir pressão ou a “nega” foram as zonas A, E e, em menor grau, a zona B, que totalizam 30% da cortina.

As restantes zonas C, D e F, que totalizam 70% da cortina, são zonas de permeabilidades baixas a moderadas mas com consumos por vezes elevados, (Marcelino et. al, 2010).

O Quadro 5.2 apresenta a composição das caldas utilizadas no tratamento da fundação da barragem de Valtorno/Mourão.

Quadro 5.2 – Composição das caldas de tratamento da fundação

Fonte: (Marcelino et al, 2010).

a) – Composição das Caldas à Base de Cimento e Água

Traço C/A	Água (l)	Cimento (kg)	Valores dos ensaios de controlo no fabrico		
			Viscosidade (s)	Densidade	Decantação (%)
1/2	200	100	28 - 29	1,24 – 1,26	45
1/1,5	200	135	30 - 31	1,34 – 1,36	25
1/1	200	200	32 - 33	1,44 – 1,46	20

b) – Composição das Caldas à Base de Cimento, Areia e Água

Traço C/A	Água (l)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Valores dos ensaios de controlo no fabrico		
				Viscosidade (s)	Densidade	Decantação (%)
1/0,7	140	200	40	37 - 38	1,56	9
1/0,6	120	200	40	42	1,66	8
1/0,7	140	200	60	Não injectável		

5.3 – Sistema de observação da barragem de Valtorno/Mourão

5.3.1 – Características gerais

Tal como já foi referido, o sistema de observação de uma barragem deve, de um modo geral, ser composto por equipamentos capazes de fornecer informações, precisas e em tempo útil, de acordo com as necessidades específicas da barragem. As informações recolhidas das campanhas de observação são elementos de extrema importância visto que da sua análise se pode tirar conclusões sobre o comportamento da barragem e a sua correspondente segurança.

A escolha dos equipamentos que compõem um sistema de observação, assim como as grandezas a observar, o número e a localização dos equipamentos distribuídos pela barragem, deve ser feita em concordância com as condições de projecto, tendo em consideração os riscos associados a obra e as ocorrências verificadas durante a fase

construtiva. Geralmente a frequência com que são feitas as observações de uma barragem são definidas em função do regime de exploração da albufeira e do seu historial.

No caso da barragem de Valtorno/Mourão, tendo em conta as particularidades da obra, e de acordo com o RSB e as NOIB, estabeleceram-se quatro fases distintas de observação: a fase de construção, do primeiro enchimento e esvaziamento rápido, do primeiro período de exploração e a fase de exploração posterior, vide Tabela 3 do Anexo I. Previu-se a realização de uma inspecção visual imediata, no caso de acontecimentos excepcionais, como por exemplo, a ocorrência de um sismo importante, de grandes cheias, o esvaziamento total ou abaixamento significativo do nível da albufeira.

Em situações normais, as observações são efectuadas respeitando as fases de observação pré-estabelecidas e são lidas as seguintes grandezas: nível de água na albufeira, pressões intersticiais, medição do caudal total, deslocamentos superficiais e dados meteorológicos.

A observação destas grandezas é feita através de um conjunto de equipamentos instalados na própria barragem, que se descrevem em seguida:

- Marcas superficiais – são num total de 13, das quais 10 estão colocadas no coroamento do lado montante e do lado jusante e as restantes na banquetta de jusante. A colocação das marcas no coroamento e nos dois perfis de maior altura foi feita respeitando o critério que consiste em manter igual espaçamento entre as marcas. Estes dispositivos permitem a observação dos deslocamentos verticais e horizontais.

- Piezómetros hidráulicos – foram instalados um total de 20 piezómetros localizados nos 3 perfis transversais, em complemento das células eléctricas; através destes equipamentos são observadas as pressões intersticiais nas diferentes zonas da barragem e fundação a profundidades variadas.

- Piezómetros eléctricos – estes equipamentos auxiliam a observação de pressões intersticiais na zona de contacto aterro – fundação e também auxiliam no acompanhamento da observação da eventual subida das pressões intersticiais no corpo da barragem devido a compactação.

- Medidores de caudais – estes foram executados no final da construção da obra e estão localizados nas zonas mais fundas do vale medindo o caudal drenado pelos tapetes drenante das diferentes zonas da barragem.

- Estação meteorológica – a estação meteorológica serve para a observação da precipitação na zona da barragem. No caso da barragem de Valtorno/Mourão não foi

considerado necessário dispor deste equipamento pelo facto de haver na proximidade da barragem uma estação meteorológica, (Marcelino, 2005).

5.3.2 – Escolha dos sensores a incluir na análise

Um dos aspectos mais importantes no controlo de segurança de uma barragem de aterro consiste na monitorização da eficiência do controlo de percolação através do aterro e da fundação. Torna-se assim essencial controlar os níveis piezométricos em determinados pontos críticos e relacionar as suas variações com os níveis de água na albufeira.

Complementarmente, é importante captar e medir os caudais que afluem ao sistema de drenagem, podendo-se, assim, detectar e acompanhar a evolução de quaisquer anomalias que possam surgir durante a vida útil da barragem, como por exemplo os fenómenos de erosão interna.

Dado o número relativamente elevado de sensores instalados na barragem de Valtorno/Mourão, foram, para este trabalho, seleccionados os que se consideraram mais representativos do comportamento da barragem. Assim, do conjunto de grandezas medidas na barragem de Valtorno/Mourão foram escolhidas as pressões intersticiais nos piezómetros PH1/4, PH4/4, PH7/4 e PH8/4, Anexo III Desenho 4, e os caudais totais percolados através da barragem bem como o nível de água na albufeira.

5.4 – Processo de aprendizagem da rede neuronal ALBATROZ

5.4.1 – Abordagem para criação da série de aprendizagem do modelo neuronal

Os dados utilizados pela rede neuronal ALBATROZ têm duas origens diferentes consoante se está a realizar a aprendizagem ou a utilizar a rede para fazer um diagnóstico do estado de segurança da barragem, em função, dos registos lidos nos sensores escolhidos do sistema de observação.

Assim, na fase da aprendizagem, o treino da rede é feito com dados “criados” ou seja artificiais, que devem traduzir o comportamento da barragem de modo a que a rede aprenda a diagnosticá-lo posteriormente. Na fase do diagnóstico, após o treino da rede, são utilizados os dados registados pelo sistema de observação da barragem de Valtorno/Mourão de forma a verificar as deficiências e estimar qual o nível de alerta na barragem.

Verificou-se, assim, haver a necessidade de construir uma amostra de treino relativamente exaustiva de forma a traduzir as diversas situações que podem ocorrer na barragem.

No total foi criado um conjunto de dados de treino com 258 linhas Tabela 9 do Anexo I, que representam algumas das combinações possíveis de situações correspondentes a comportamentos adequados, e inadequados da barragem. Cada linha contém os dados de input e os dados de output correspondentes.

As primeiras sete colunas (dados de input) representam respectivamente, o nível de albufeira, as pressões intersticiais registadas em três piezómetros na fundação e num piezómetro no maciço jusante, bem como o caudal percolado e o caudal relativo. As últimas colunas (os outputs) representam as classificações de, caudal, pressões na fundação, pressões no maciço jusante, e o nível de alerta, respectivamente.

Assim, o processo de aprendizagem da rede neuronal ALBATROZ e a construção da tabela 9 obrigaram à pré-geração das séries de entradas e respectivas saídas, sendo um processo delicado, que obrigou à adopção da seguinte abordagem sequencial:

➤ Numa 1ª fase foram gerados dados sobre as acções na barragem (pressão hidrostática traduzida pelo nível de água na albufeira) e verificou-se, considerando os modelos numéricos, qual a resposta da barragem a nível da pressão nos piezómetros escolhidos e do caudal percolado (seis primeiras colunas da Tabela 9 do Anexo I); esta fase encontra-se descrita no ponto 5.4.2;

➤ Numa 2ª fase, os valores de resposta foram analisados por um especialista que definiu o seu diagnóstico do comportamento da barragem, atribuindo valores para as saídas de acordo com os critérios apresentados no ponto 5.4.3 (quatro últimas colunas da Tabela 9 do Anexo I).

5.4.2 – 1ª Fase - Modelação da resposta da barragem com base no modelo de comportamento de elementos finitos

Como já se descreveu anteriormente, a série de dados para treino da rede foi criada com base no modelo de elementos finitos da barragem de Valtorno/Mourão que permitiu verificar qual a resposta esperada da barragem a nível de leituras nos sensores escolhidos em função do nível hidrostático.

Este modelo foi desenvolvido no âmbito do acompanhamento pelo LNEC do primeiro enchimento da barragem (Marcelino, 2005; Marcelino, 2006). Trata-se de um modelo de elementos finitos que adopta a hipótese simplificativa de considerar que o escoamento se processa segundo um plano transversal (escoamento plano). Na Figura 5.4 apresenta-se o perfil transversal considerado no cálculo e a respectiva divisão em elementos finitos.

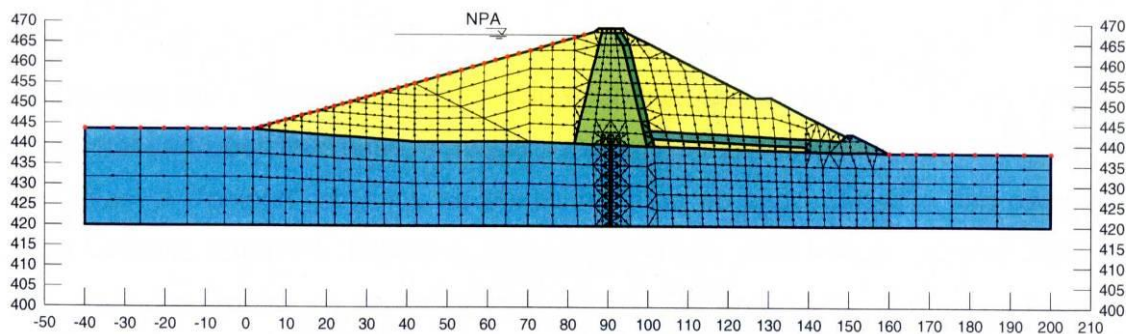


Figura 5.4 – Modelo geométrico da barragem de Valtorno e divisão em elementos finitos

Fonte: Marcelino, 2005

O modelo permitiu prever valores das leituras piezométricas e de caudais percolados para a situação de regime permanente para dois níveis de água na albufeira: para o NPA e para o primeiro patamar de enchimento, à cota 459,00 m. Em particular, para a albufeira à cota do NPA, o modelo previu os valores das alturas piezométricas que constam do Quadro 5.3. Para esta mesma situação, o caudal total que se estimou percolar através da barragem é igual a 2,6 l/s. Estes valores que correspondem a um comportamento adequado da barragem, são ainda ilustrados pela Figura 5.5.

Quadro 5.3 – Previsão das leituras piezométricas para o NPA em regime permanente

Piezómetro	Cota do piezómetro	Pressão em m.c.a
PH1/4	433,5	16
PH4/4	433,5	13
PH7/4	433,5	7
PH8/4	441,5	0

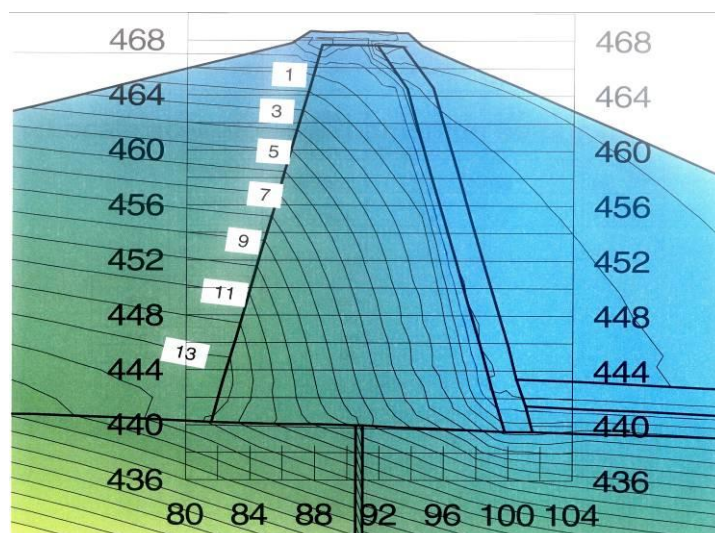


Figura 5.5 – Diagrama para aferição das leituras piezométricas, na zona do núcleo na situação de escoamento em regime permanente para o nível da água ao NPA

Para a albufeira à cota do primeiro patamar, o modelo de elementos finitos previu os valores das alturas piezométricas que constam do Quadro 5.4 e ilustrados pela Figura 5.6.

Quadro 5.4 – Previsão das leituras piezométricas para a cota 459 m

Fonte: Marcelino, 2006

Piezómetro	Cota do piezómetro	Pressão em m.c.a
PH1/4	433,5	13,8
PH4/4	433,5	11
PH7/4	433,5	6,5
PH8/4	441,5	0

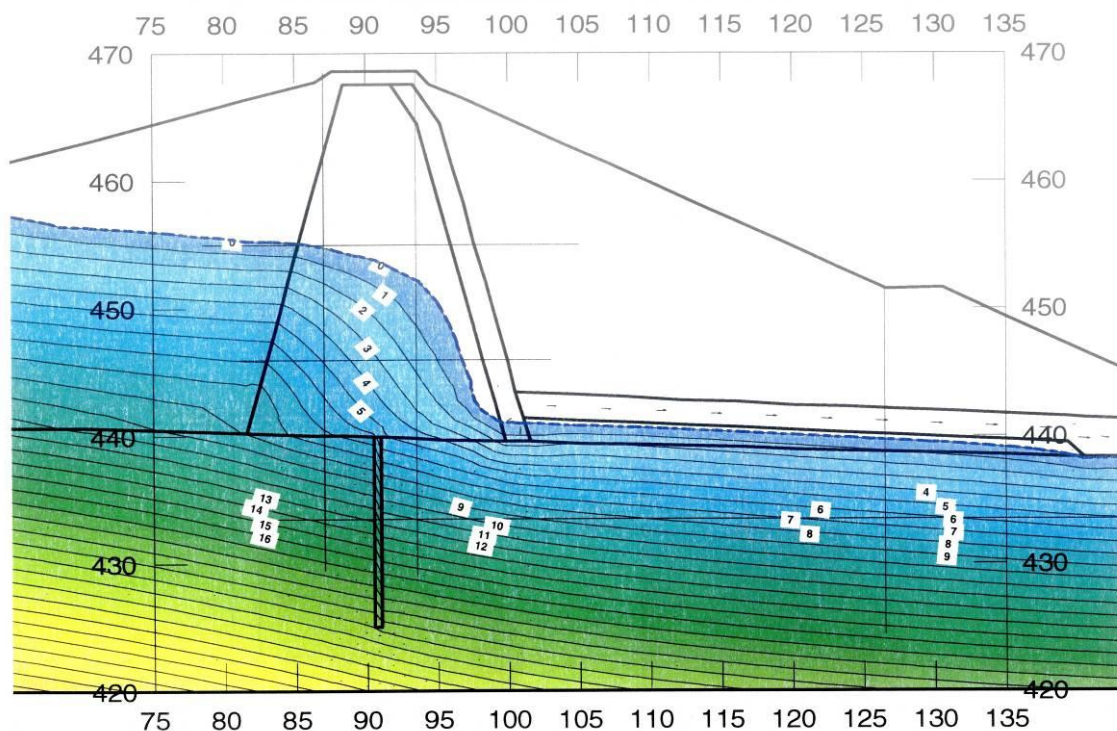


Figura 5.6 – Diagrama para aferição das leituras piezométricas, na zona do núcleo na situação de escoamento em regime permanente para o nível da água à cota 459 m

Fonte: Marcelino, 2006

Foram ainda modeladas outras situações que relacionam o nível de água na albufeira com os valores esperados para as grandezas de pressões e caudais percolados, com base nos quais foi possível construir a já mencionada série com 258 registos de conjuntos de sete grandezas de entrada que são apresentadas na Tabela 9 do Anexo I. Estas séries constituíram o conjunto de treino para a rede neuronal ALBATROZ. Neste conjunto de treino incluem-se também diversos registos de leituras que traduzem, na sua maioria um mau comportamento, nomeadamente quando o caudal percolado é elevado e/ou quando não há uma correcta perda de carga ao longo da fundação.

5.4.3 – 2ª Fase – Classificação do grau de gravidade na barragem com base na experiência dos especialistas

A atribuição das classificações dos valores de pressão nos piezómetros e dos caudais foi objecto de discussão entre elementos de uma equipa multidisciplinar de geotecnia e hidráulica e de técnicos familiarizados com a barragem em questão, e nomeadamente com os aspectos de projecto, construção, operação e comportamento da mesma. Assim, a metodologia adoptada assentou basicamente na experiência dos especialistas e no conhecimento da barragem pelos mesmos.

Foram, em particular, adoptados os seguintes critérios:

- Atribuição do valor 0, no caso de ser considerado normal o valor de pressão nos piezómetros PH1/4, PH4/4, PH7/4 e PH8/4 ou o valor do caudal percolado; atribuição do valor 1, caso estes valores sejam considerados “anormais”;
- Atribuição de valores inteiros variando entre 0 e 3 inclusive, para caracterizar o nível de alerta, com base nos 3 valores de classificação precedentes.

Os registos normais correspondem aos valores previstos pelo modelo de elementos finitos da barragem ou a valores que, conceptualmente, correspondem a comportamentos normais.

O nível de albufeira, apesar de não ter uma classificação correspondente na série de dados de treino e, consequentemente também não no ficheiro de treino do modelo criado, teve também influência na atribuição dos níveis de alerta. A classificação do nível de albufeira foi feita atribuindo valores inteiros de zero (0) a três (3), em que o zero (0) representa um nível da albufeira baixo com cotas inferiores a 460, o um (1) representa um nível da albufeira médio com cotas compreendidas entre 460 e 467, o dois (2) representa um nível da albufeira alto com cotas compreendidas entre 467 e 467.50 e o três (3) representando um nível de albufeira muito alto com cotas superiores a 467.50.

O nível de alerta final, considerado no treino, resultou das classificações atribuídas aos indicadores individuais acima mencionados. Tal como já foi referido, foram atribuídos quatro níveis de alerta, habitualmente usados nas barragens, que podem ser representados pelas cores: azul (0), amarelo (1), laranja (2), e vermelho (3).

Na atribuição dos níveis de alerta, cada um dos indicadores atrás mencionados entra com uma contribuição na definição do nível de alerta da linha onde se encontra. É importante referir que nesta definição dos níveis de alerta se pode incorporar alguma subjectividade, resultante, por exemplo, da experiência do especialista que procede à classificação.

Sendo assim a classificação do nível de alerta foi feita da seguinte maneira:

- Quando não existe nenhum problema na barragem (não há qualquer indicador de comportamento deficiente) e se tem um nível de albufeira baixo, atribui-se um nível de alerta zero (0);
- Quando não se verifica nenhum problema na barragem e o nível de albufeira é médio, atribui-se um nível de alerta um (1);
- Quando não se verifica nenhum problema na barragem e o nível de albufeira é alto, atribui-se um nível de alerta dois (2);
- Quando não se verifica nenhum problema na barragem e o nível de albufeira é muito alto, atribui-se um nível de alerta três (3);
- Quando se verifica o problema de caudal excessivo e o nível de albufeira é médio/baixo, atribui-se um nível de alerta um (1);
- Quando se verifica o problema de caudal excessivo e o nível de albufeira é alto, atribui-se um nível de alerta dois (2);
- Quando se verifica um problema de pressão em qualquer dos piezómetros, problema de caudal excessivo e o nível de albufeira é médio/baixo, atribui-se um nível de alerta dois (2);
- Quando há até dois problemas de pressão em qualquer dos piezómetros e o nível de albufeira é médio/baixo, atribui-se um nível de alerta um (1);
- Quando há até três problemas de pressão em qualquer dos piezómetros e o nível de albufeira é médio/baixo, atribui-se um nível de alerta dois (2);
- Quando há três problemas de pressão em qualquer dos piezómetros e também se verificar problemas de caudal excessivo, qualquer que seja o nível de albufeira, atribui-se um nível de alerta três (3).

Tal como já foi referido, estes critérios incorporam alguma subjectividade mas, contudo exigem bom senso e coerência nas classificações e na própria atribuição dos níveis de alerta, afim de no final poder se chegar a resultados credíveis.

5.4.4 – Aprendizagem do modelo

O modelo ALBATROZ, sendo uma rede neuronal do tipo Perceptrão Multicamada, utiliza um tipo de aprendizagem que consiste na apresentação à rede neuronal de uma série de padrões de entrada em conjunto com as respectivas saídas desejadas.

A aprendizagem consiste na modificação dos pesos com o objectivo de reduzir a discrepância entre a saída obtida e a desejada, sendo um processo moroso e que exige muito rigor e cuidado na preparação dos dados a serem utilizados.

O tempo necessário para a paragem do treino da rede está directamente ligado à qualidade do desempenho que se pretenda para a rede. Uma rede mal treinada ou seja, com pouco tempo de treino, pode não ter aprendido o suficiente sobre as características do conjunto de dados introduzidos, assim como também um treino demasiado longo pode obrigar a rede a fazer ajustamentos excessivos podendo perder a capacidade de generalização (apenas memoriza os padrões apresentados).

O treino da rede foi feito recorrendo a um cluster existente no LNEC (cluster MEDUSA). Foram realizadas corridas de treino tendo por base o ficheiro de dados de treino que consta da Tabela 10 do Anexo I, onde estão caracterizadas 258 situações com dados “criados” que traduzem o comportamento da barragem em diversas situações.

Destas, as últimas 20 situações foram escolhidas para verificar se o modelo adquiriu uma aprendizagem adequada, isto é, do conjunto de dados de treino, seleccionaram-se aleatoriamente 20 casos que não foram usados na aprendizagem mas que são usados na verificação da qualidade da mesma.

A aprendizagem foi um processo completado após várias tentativas, tendo-se registado diversos problemas. Uma das principais dificuldades encontradas no processo de treino foi a não convergência da rede para os valores do erro máximo fixados. A partir de determinados valores a rede deixava de convergir. Este problema foi ultrapassado alterando o valor do coeficiente de aprendizagem alfa. Por outro lado, uma outra dificuldade que foi difícil ultrapassar consistiu na obtenção de um tempo de treino não muito prolongado. A Figura 5.7 ilustra graficamente o processo de convergência do treino.

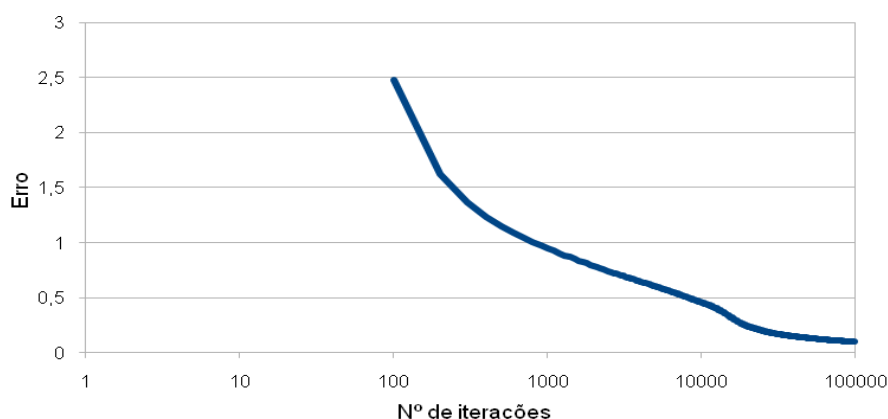


Figura 5.7 – Iterações efectuadas no processo de treino do modelo ALBATROZ

Na Tabela 11 do Anexo I apresenta-se o ficheiro de saída tipo do modelo ALBATROZ, na fase da aprendizagem. Da sua análise, verifica-se que o modelo Albatroz conseguiu traduzir adequadamente o comportamento da barragem nas 20 situações aleatoriamente escolhidas para não incorporar o treino. Conclui-se, assim, que a rede neuronal estava adequadamente treinada.

5.5 – Fase de diagnóstico por aplicação do modelo ALBATROZ aos dados do sistema de observação da barragem de Valtorno/Mourão

Na fase do diagnóstico, após o treino da rede, são utilizados os dados registados pelo sistema de observação da barragem de Valtorno/Mourão de forma a verificar qual o nível de alerta na barragem que a eles está associado. Os dados de observação da barragem de Valtorno/Mourão dizem respeito a dois períodos distintos:

- um primeiro período, que levou a interrupção da fase de 1º enchimento, devido ao facto da barragem não estar a exibir o comportamento esperado, que se convencionou denominar de “Período anterior à reabilitação”, ver Tabela 12 do Anexo I;
- um segundo período, após o tratamento da fundação, que se convencionou denominar de “Período posterior à reabilitação”, ver Tabela 13 do Anexo I.

Utilizando os dados registados nestes dois períodos pelo sistema de observação, pretende-se verificar se o modelo da rede neuronal ALBATROZ permite identificar o nível de alerta associado a cada uma destas duas fases.

Assim para o período “anterior à reabilitação” foi preparado um ficheiro com 76 situações, para as quais se pretende o diagnóstico, ver Tabela 14 do Anexo I. Neste ficheiro apenas se registam as entradas da rede neuronal, ou seja, níveis de água que ocorreram na albufeira e correspondentes registos de caudal percolado, caudal relativo e as pressões nos piezómetros PH1/4, PH4/4, PH7/4 e PH8/4.

O ficheiro de resultados da análise feita pela rede neuronal apresenta para além das entradas no modelo, os diagnósticos e o nível de alerta, ver Tabela 15 do Anexo I.

Da consulta desta última tabela verifica-se que a situação de segurança não adequada da barragem de Valtorno/Mourão, ou seja, antes do tratamento da fundação, se encontra bem diagnosticada pela rede neuronal ALBATROZ. Com efeito, verifica-se que é atingido o nível de alerta máximo, nível 3, na grande maioria dos casos analisados pela rede neuronal. Assim, dos 76 registos associados àquele período, o nível 3 é despoletado 89.5% das vezes.

Conclui-se, assim, que a rede neuronal ALBATROZ teria tido a capacidade de identificar o comportamento inadequado da fundação da barragem de Valtorno/Mourão. A acção de reposta para este nível terceiro de alerta: esvaziamento da albufeira e tratamento da fundação, que foi atempadamente preconizada, poderia, igualmente, estar prevista no PEI.

A rede neuronal ALBATROZ analisou, igualmente, o período “posterior à reabilitação”. Assim, foram recolhidos dados de observação da barragem neste período e preparado um ficheiro com 95 situações, para as quais se necessita de diagnóstico, Tabela 16 do Anexo I. Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 17 do Anexo I.

Da consulta desta última tabela verifica-se que a situação de segurança, reposta após o tratamento da fundação se encontra bem diagnosticada pela rede neuronal ALBATROZ. Com efeito, para os 95 registos associados a aquele período, ocorreram as seguintes situações:

- o nível de alerta 0 foi despoletado de 81.1% das vezes;
- o nível de alerta 1 foi despoletado de 13.7% das vezes;
- o nível de alerta 2 foi despoletado de 2.1% das vezes;
- o nível de alerta 3 foi despoletado de 3.1% das vezes.

A situação geral em termos do nível de alerta vivida na barragem está patente na Figura 5.8.

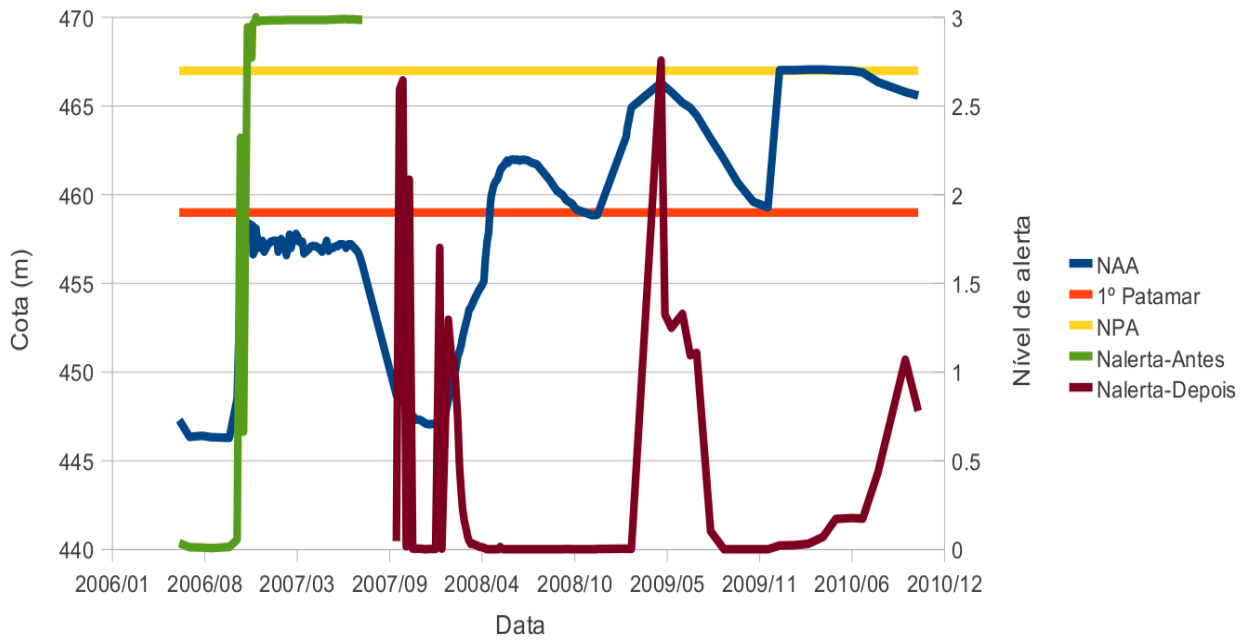


Figura 5.8 – Nível de alerta na barragem detectada pelo Modelo ALBATTROZ, antes e depois do tratamento

Da consulta das tabelas 15 e 17 do Anexo I conclui-se que, no conjunto geral, o diagnóstico da rede neuronal desenvolvida, traduziu correctamente o estado de segurança da barragem. No entanto, foi, igualmente, possível verificar algumas discrepâncias entre os dados de entrada e as respostas dadas a nível da classificação da gravidade da situação. Assim, verificaram-se alguns casos pontuais em que a rede criada não apresentou os resultados esperados. As diferenças verificadas nos resultados podem estar ligados a vários factores tais como:

- o número insuficiente de dados de treino, não representando, portanto, um número suficiente de situações que possam ocorrer na barragem;
- um número insuficiente de neurónios na camada intermédia, o que pode fazer com que a rede não tenha capacidade para analisar de forma adequada as situações apresentadas;
- parâmetros de treino inadequados para os dados considerados.

Capítulo 6 – CONCLUSÕES

Da consulta de planos de emergência internos de barragens verifica-se que há uma determinada facilidade em definir o nível de alerta com base em limites qualitativos mas que há uma dificuldade em estabelecer os mesmos limites com base em indicadores quantitativos associados à medição de grandezas nas barragens. A metodologia tradicional de estabelecer o nível de alerta com base em modelos de comportamento mais ou menos complexos, ou com base na opinião de especialistas pode demorar um hiato de tempo incompatível com a resposta na situação de emergência.

Desta forma, justifica-se o desenvolvimento de instrumentos que possam ser utilizados em conjunto com as abordagens mais tradicionais e ajudar na análise do comportamento da barragem.

Assim, foi desenvolvida uma rede neuronal para definir o nível de alerta na barragem de Valtorno/Mourão em função da pressão registada em piezómetros e do caudal percolado através da barragem. Este modelo permitiu identificar a situação anormal que se verificou na barragem e que foi detectada durante o primeiro enchimento da mesma tendo levado à interrupção do mesmo.

Conclui-se que o desenvolvimento de redes neuronais aplicadas aos sistemas de observação, com a identificação prévia das situações que podem definir uma emergência, pode permitir classificar, de certa forma em tempo real, o nível de alerta associado a uma situação anómala. Esta característica transforma a redes neuronais numa peça importante no planeamento de emergência em barragens e constitui, igualmente, um instrumento de apoio ao controlo de segurança das mesmas. Outro aspecto de grande importância na utilização das redes neuronais é o facto de o seu treino poder, de forma natural, incluir informação subjectiva, correspondente ao conhecimento e à experiência de um determinado especialista. Basta que os dados de treino incluam essa informação.

Finalmente, as dificuldades sentidas no desenvolvimento deste trabalho sugerem algumas linhas a seguir em trabalhos futuros, nomeadamente os seguintes:

- o desenvolvimento de algoritmos de treino optimizados, provavelmente considerando coeficientes de treino variáveis;
- sistemas de optimização da geometria da rede neuronal;
- preparação de conjuntos de dados mais exaustivos.

ANEXOS

ANEXO I – Tabelas

Tabela 1 – Deteriorações mais comuns nas barragens de aterro

	Efeitos e consequências	Causas
Fundação	Percolação e erosão interna da fundação, reabertura de descontinuidades na fundação Movimento da fundação (deformações, e assentamentos) Deterioração ou rotura da fundação	Deficiente comportamento hidráulico (deterioração físico-química de cortinas de injeção ou insuficiência de sistemas de drenagem, tapetes de impermeabilização inadequados) Insuficiência de resistência mecânica, nomeadamente ao corte. Existência de descontinuidades com orientação desfavorável ou, assentamentos de consolidação na fundação (fundação em solos), colapso de cavidades cársticas (prospecção geotécnica inadequada ou insuficiente) Degradação e alteração de materiais (incluindo o respectivo empolamento, por exemplo, pela presença de argilas expansivas ou dispersivas)
Materiais do aterro	Movimentos diferenciais (deformações e assentamentos) Desintegração de materiais Instabilidade dos taludes Perda de coesão	Erro de projecto (propriedades inadequadas dos materiais de empréstimo, por exemplo, material gerando tensões de contacto excessivas) ou deficiente colocação em obra (material não homogéneo ou compactação deficiente) Insuficiência de resistência mecânica, nomeadamente ao corte, ou permeabilidade excessiva Protecção dos paramentos inadequada (espessura ou peso insuficiente, graduação inadequada do rip-rap, revestimento vegetal inadequado)
Comportamento estrutural do corpo da barragem	Movimentos diferenciais e assentamentos, podendo dar origem a fissuração, rotura e fugas em condutas, surgimento de caminhos preferenciais de percolação Percolação, erosão interna Excesso de pressões neutras e instabilidade dos taludes (escorregamentos a montante e a jusante) Surgimento de zonas húmidas no paramento ou na zona imediatamente a jusante	Erro de projecto: inadequação das formas da barragem e da sua inserção no vale, taludes muito inclinados, zonas de transição e de ligação a outras estruturas mal projectada (ou executada) Deficiente comportamento hidráulico ou cortinas de estanquidade e núcleo impermeável inadequados. Drenagem interna ou filtragem insuficiente (inadequação ou obstrução de drenos e filtros), arrastamento de solo ao longo de condutas no corpo da barragem e infiltrações relacionadas com condutas Esvaziamento rápido da albufeira, sem tempo para dissipação das pressões neutras
Eventos externos excepcionais	Valores elevados de subpressão, nomeadamente em zonas de menor peso da barragem (pé de jusante), excesso de pressões neutras, liquefacção da fundação Nível piezométrico muito elevado com risco de aproximação da linha de saturação do paramento de jusante, saturação temporária dos paramentos Erosão ravinosa e externa Perda de folga, galgamento	Cheias, rotura de barragens a montante Escorregamento de terras para a albufeira Sismos, tempestades e elevada precipitação Acção excessiva das ondas na albufeira Actos de guerra vandalismo ou sabotagem Erro de projecto, nomeadamente: folga insuficiente, capacidade do descarregador insuficiente ou cheia de projecto mal avaliada
Manutenção e monitorização	Infiltrações Surgimento de caminhos preferenciais de percolação Deterioração de instrumentação	Inspecções periódicas inadequadas Limpeza de drenos inadequada, controlo de infiltrações inadequado (avaria das bombas de escoamento das afluências aos sistemas de filtragem ou drenagem) Manutenção da protecção dos taludes, orifícios causados por animais, crescimento de vegetação e árvores, remoção de árvores inadequada

Tabela 2 – Ficha de inspeção visual de rotina

TÉCNICOS DA INSPECÇÃO			
Data da inspecção			
Níveis de água na albufeira (m)			
Estado do tempo			
DESCRIÇÃO DA INSPECÇÃO VISUAL DE ROTINA			
COROAMENTO			Ref. Fotog.
Pavimento	Estado geral		
	Nivelamento		
	Perturbações localizadas		
Guarda de montante	Estado geral		
	Nivelamento		
	Alinhamento		
	Perturbações localizadas		
Passeio de montante	Estado geral		
	Nivelamento		
	Alinhamento		
	Perturbações localizadas		
Passeio de jusante	Estado geral		
	Nivelamento		
	Alinhamento		
	Perturbações localizadas		
	Estado geral		
	Vegetação		
	Perturbações localizadas		
PARAMENTO DE JUSANTE			
	Estado geral		
	Vegetação		
	Ressurgências		
	Perturbações localizadas		
ENCONTRO DA MARGEM ESQUERDA			
	Ressurgências		
	Deslizamentos		
	Estado da caleira		
ENCONTRO DA MARGEM DIREITA			
	Ressurgências		
	Deslizamentos		
	Estado da caleira		

Tabela 2 (cont) – Ficha de inspeção visual de rotina

ZONA A JUSANTE DO ATERRO			Ref. Fotog.
	Estado geral		
	Vegetação		
	Ressurgências		
	Assentamentos		
	Deslizamentos		
	Perturbações localizadas		
ÓRGÃOS DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO			
Dreno da margem esquerda	Estado geral		
	Acessibilidade ao medidor de caudal		
	Condições de medição do caudal		
	Canal de escoamento		
Descarga de fundo	Torre de manobra		
	Saída		
Descarregador de cheias	Entrada		
	Saída		
	Bacia de dissipação		
	Canal de restituição		
Poço de drenagem	Dreno de acesso ao poço		
	Conduta de drenagem		
	Estado de funcionamento das bombas		
EQUIPAMENTO DE OBSERVAÇÃO			
Marcas superficiais			
Piezómetros			
Inclinómetros			
Baterias de assentamentos			
Medidor de caudal do dreno da ME			
Medidor do nível da albufeira			

Tabela 3 – Frequências das observações

Construção		Primeiro enchimento e esvaziamento rápido	
Nível de albufeira		Nível de albufeira	diário
Deslocamentos Superficiais		Deslocamentos Superficiais	Início, patamares e fim do enchimento ou esvaziamento rápido ou anual
Caudais totais		Caudais totais	Início, patamares e fim do enchimento ou esvaziamento rápido ou mensal
Pressões intersticiais piezómetros	Semanal	Pressões intersticiais piezómetros	Início, patamares e fim do enchimento ou esvaziamento rápido ou mensal
Precipitação	diário	Precipitação	diário
Inspecção visual de Rotina	Semanal	Inspecção visual de Rotina	Início, patamares e fim do enchimento ou esvaziamento rápido ou mensal
Inspecção visual de especialidade	a meio e no fim da construção	Inspecção visual de especialidade	Início, patamares e fim do enchimento ou esvaziamento rápido ou anual
Inspecção visual excepcional	após ocorrência	Inspecção visual excepcional	após ocorrência
Exploração, 1º Período		Exploração, Período posterior	
Nível de albufeira	diário	Nível de albufeira	diário
Deslocamentos Superficiais	anual	Deslocamentos Superficiais	bienal
Caudais totais	trimestral	Caudais totais	trimestral
Pressões intersticiais Piezómetros	trimestral	Pressões intersticiais Piezómetros	trimestral
Precipitação	diário	Precipitação	diário
Inspecção visual de Rotina	trimestral	Inspecção visual de Rotina	trimestral
Inspecção visual de especialidade	anual	Inspecção visual de especialidade	bienal
Inspecção visual excepcional	após ocorrência	Inspecção visual excepcional	após ocorrência

Tabela 4 – Caracterização genérica das situações que accionam os diversos níveis de alerta

(fonte: ANPC, 2006)

Nível de Alerta	Situação	Medidas a tomar pelo Dono de Obra
Alerta Azul Nível 0	<ul style="list-style-type: none"> - Situação normal de rotina, ou - Detecção de anomalias na barragem, ou outros eventos, que não comprometam a segurança estrutural da barragem, nem dos seus órgãos operacionais, nem inviabilizem o sistema de observação da barragem. <p>A gravidade dos problemas existentes deve levar a crer que não exista qualquer tipo de consequências no vale a jusante da barragem.</p>	MEDIDAS internas de resolução da anomalia ou incidente
Alerta Amarelo Nível 1	<p>Situação 1 - Descargas elevadas por gestão operacional, ou Situação 2 - Existência de anomalias ou eventos que possam vir a comprometer a segurança estrutural e/ou operacional da barragem ou os meios de observação e controlo da barragem, admitindo-se eventuais efeitos moderados a jusante da barragem:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Existência de condições meteorológicas adversas b) Detecção de anomalias nos: <ul style="list-style-type: none"> - Elementos estruturais da barragem - Sistema de observação/monitorização c) Existência de problemas nas fundações d) Existência de actividade sísmica e) Existência de outros eventos com incidência sobre a segurança da barragem 	<p>MEDIDAS internas de resolução da anomalia ou incidente</p> <p>ALERTA:</p> <p>Serviços de Protecção Civil</p> <p>Autoridade (INAG)</p> <p>AVISA:</p> <p>Situação 1 - sinal de descarga</p> <p>Situação 2 - divulgação de informação</p> <p>Populações imediatamente a jusante da barragem</p>
Alerta Laranja Nível 2	<p>Situação 1 - Ocorrência de cheias com elevado período de retorno, ou</p> <p>Situação 2 - Situação com alta probabilidade de acidente, em que se admite não ser possível controlar a situação, afectando o vale a jusante da barragem:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Detecção de anomalias graves nos: <ul style="list-style-type: none"> - Elementos operacionais das barragens - Elementos estruturais da barragem b) Existência de problemas graves nas fundações 	<p>ALERTA:</p> <p>Serviços de Protecção Civil</p> <p>Autoridade (INAG)</p> <p>AVISA:</p> <p>Situação 1 - sinal de descarga</p> <p>Situação 2 - sinal de evacuação</p> <p>Populações imediatamente a jusante da barragem</p>
Alerta Vermelho Nível 3	<ul style="list-style-type: none"> 1 - Situação de catástrofe inevitável: - Iminência de rotura da barragem 2 - Rotura da barragem. 	<p>ALERTA:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Serviços de Protecção Civil - Autoridade (INAG) <p>AVISA: sinal de evacuação</p> <p>Populações imediatamente a jusante da barragem</p>

Tabela 5 – Acções de resposta a implementar na barragem para o nível de alerta Vermelho

(fonte: Viseu, 2006)

Acção	Quando	Tipo de acção
Promove a avaliação da natureza e extensão do acidente Declara nível de alerta Vermelho	Após detecção da anomalia ou ocorrência	Classificação nível de alerta
Notifica os recursos internos no sentido de ficarem em estado de vigilância permanente - 24 h/dia Notifica Dono da Obra Promove contacto com entidades externas com responsabilidades instituídas: - IM para informação sísmica ou meteorológica - INAG para avaliar condições das afluentes	Após identificar nível de alerta	Notificação interna dos recursos e externa das entidades com responsabilidades instituídas para apoio à gestão da emergência
Procede à evacuação de todo o pessoal que trabalha no aproveitamento a não ser o estritamente fundamental para a gestão da emergência Veda o acesso à zona da barragem Implementa monitorização contínua das afluentes ou a observação mais intensa da barragem Monitoriza as descargas para jusante da barragem Regista no livro técnico da obra todas as observações e acções Verifica a operacionalidade dos meios de emergência: dos sistemas de comunicação, das comportas, dos grupos de emergência, dos SAA Mobiliza os meios de apoio humanos (os estritamente fundamentais) bem como os recursos materiais e logísticos considerados necessários	Após identificar nível de alerta e ao longo de toda a situação de alerta	Monitorização da situação
Implementa medidas operativas (baixa o nível da albufeira, condiciona a sua exploração ou solicita à barragem da Cova do Viriato que retenha água ou reduza descargas) Eventualmente promove a deslocação de técnicos especialistas à barragem, para avaliar a natureza e extensão do acidente e propor medidas correctivas (intervenção de reforço da barragem, manutenção ou substituição de equipamento)	Durante a situação de alerta	Implementação de medidas preventivas e correctivas em função do tipo de ocorrência
Alerta - Autoridade (INAG) - Serviços de Protecção Civil (SMPC) e o CDOS Mantém o contacto durante a ocorrência com informações regulares e sempre que os níveis de água na albufeira e os volumes descarregados se alterem significativamente Organiza reuniões periódicas com estas entidades para avaliação e discussão da situação Aviso: - acciona o sinal de início de aviso para evacuação da população na ZAS	Durante a situação de alerta	Alerta e Aviso
Verifica: - i) se as medidas implementadas resultam (ou se a ocorrência deixa de constituir ameaça) e se a situação de perigo retrocede para níveis de alerta inferiores - ii) se ocorre a rotura	Após aplicação das medidas	Reclassificação do nível de alerta

Tabela 6 – Potenciais problemas detectáveis pelo sistema de observação da barragem e as correspondentes medidas correctivas

DISPOSITIVOS	GRANDEZA	SITUAÇÃO	CENÁRIOS POSSÍVEIS DE INCIDENTES / ACIDENTES	EVENTUAIS MEDIDAS DE INTERVENÇÃO
Escala limnimétrica	Níveis na albufeira	➤ Subida do nível de água acima do NMC devido a cheias superiores à cheia de projecto	➤ Potencial galgamento do obra	➤ Rebaixamento do nível de água na albufeira (operação da descarga de fundo) ➤ Observação
Piezómetros instalados na fundação	Níveis hidrostáticos	➤ Incremento importante dos níveis hidrostáticos (verificar se os níveis da albufeira estão estabilizados, se ocorreram acréscimos e a que taxa)	➤ Funcionamento deficiente dos elementos de impermeabilização da fundação ➤ Funcionamento deficiente dos filtros/drenos ➤ Erosão interna ➤ Instabilidade global aterro-fundação	➤ Rebaixamento do nível da albufeira ➤ Drenagem ➤ Tratamento da fundação ➤ Obras de reabilitação ➤ Reforço da observação
Piezómetros instalados no aterro	Níveis hidrostáticos	➤ Incremento importante dos níveis hidrostáticos (verificar se os níveis da albufeira estão estabilizados, se ocorreram acréscimos e a que taxa) ➤ Níveis hidrostáticos medidos superiores aos calculados nos estudos de percolação do projecto	➤ Funcionamento deficiente dos elementos de impermeabilização do corpo da barragem ➤ Funcionamento deficiente dos filtros/drenos ➤ Erosão interna ➤ Instabilidade do corpo do aterro ➤ Instabilidade global aterro-fundação	➤ Rebaixamento do nível da albufeira ➤ Drenagem ➤ Obras de reabilitação (por exemplo, aterros de estabilização, obras de drenagem a jusante e obras de impermeabilização a montante) ➤ Reforço da observação
Células de pressão neutra	Pressões neutras	➤ Incremento importante das pressões neutras (verificar se os níveis da albufeira estão estabilizados, se ocorreram acréscimos e a que taxa).	➤ Pressões neutras excessivas; ➤ Percolações preferenciais; ➤ Funcionamento deficiente dos elementos de impermeabilização do corpo da barragem; ➤ Funcionamento deficiente dos filtros/drenos; ➤ Instabilidade do corpo do aterro/ instabilidade global aterro-fundação.	➤ Rebaixamento do nível da albufeira ➤ Drenagem ➤ Obras de reabilitação (por exemplo, implementação de obras de drenagem e de protecção, etc.) ➤ Reforço da observação
Células de tensão total	Tensões totais	➤ Incremento importante das tensões totais (verificar se os níveis da albufeira estão estabilizados, se ocorreram acréscimos e a que taxa).	➤ Transferência de tensão entre elementos de diferente rigidez; ➤ Fracturação hidráulica; ➤ Instabilidade do corpo do aterro/ instabilidade global aterro-fundação.	➤ Rebaixamento do nível da albufeira; ➤ Obras de reabilitação; ➤ Reforço da observação.
Medidores de caudais e poço de	Caudal	➤ Incremento importante do caudal (verificar se os níveis da albufeira estão estabilizados, se	➤ Funcionamento deficiente dos elementos de impermeabilização da fundação	➤ Rebaixamento do nível da albufeira ➤ Drenagem

bombagem		<p>ocorreram acréscimos e a que taxa)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Caudais medidos superiores aos calculados no projecto ➤ Material fino em suspensão 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Funcionamento deficiente dos elementos de impermeabilização do corpo da barragem ➤ Funcionamento deficiente dos filtros/drenos ➤ Erosão interna 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Obras de reabilitação (por exemplo, reforço da cortina de impermeabilização, implementação de obras de drenagem e de protecção, etc.) ➤ Reforço da observação
----------	--	---	---	--

Tabela 7 – Definição do nível de alerta em função do observado nas inspecções visuais (1/2)

Indicadores		Características	Nível de alerta
Aparência	➤ Desorganização das protecções dos taludes	Geralmente por peso insuficiente, desintegração ou graduação inadequada ou por erosão superficial	Azul
Infiltrações no corpo da barragem	➤ Humidades não habituais no paramento de jusante ➤ Vegetação no paramento; caudais pequenos sem pressão	Não afectam a segurança estrutural mas podem acelerar o processo de erosão do aterro, muitas vezes colmatam com o tempo	Azul
	➤ Caudais turvos ou pressões significativos de origem conhecida, sem evolução ao longo do tempo	Conduzem a processos de erosão do aterro rápidos, pelo que devem ser eliminadas	Azul
	➤ Caudais turvos e pressões significativos de origem desconhecida, com evolução rápida ao longo do tempo	Podem afectar a segurança estrutural da obra	Amarelo/Laranja
	➤ Passagens francas de água através do corpo da barragem	Erosão interna	Vermelho
Infiltrações no maciço de fundação	➤ Aparecimento de áreas saturadas a jusante ou caudais pequenos sem pressão	Em princípio não afectam a segurança estrutural da obra, mas devem ser acompanhadas	Azul
	➤ Caudais e pressões significativos que surgem subitamente ou turvos	Podem indiciar uma rotura dos elementos de impermeabilização da fundação	Amarelo
Erosões	➤ Superficial do talude de jusante	Não afectam a segurança estrutural da obra, mas devem ser acompanhados	Azul
	➤ Do corpo da barragem	Podem indiciar erosão interna	Amarelo
Movimentos	➤ Gretas, irregularidades no paramento, depressões no talude	Em princípio não afectam a segurança estrutural da obra, mas devem ser acompanhados	Azul
	➤ Movimentos nos taludes, inclinação de troncos de árvores, perda de alinhamento no coroamento	Em princípio são também detectados pela instrumentação; realizar uma campanha de observação	Amarelo
	➤ Aparecimento de gretas longitudinais e transversais no talude, humidades no coroamento	Podem indiciar a rotura da fundação e afectar a segurança estrutural da obra	Amarelo
	➤ Movimentos bruscos medidos nas marcas superficiais	Colapso, subsidência, erosão interna	Laranja
	➤ Deslizamento dos taludes da barragem	Instabilidade do corpo da barragem, sismos	Vermelho

Tabela 7 (cont.) – Definição do nível de alerta em função do observado nas inspecções visuais (2/2)

	Indicadores		Características	Nível de alerta
Estrutura	Aparência	➤ Fendilhação superficial	Geralmente de origem térmica e sem reflexos na segurança estrutural	Azul
		➤ Fendilhação intensa	Devida a fenómenos de deterioração do betão, de evolução lenta ao longo do tempo; sem consequências na segurança estrutural no curto prazo	Azul
		➤ Fendilhação estrutural	Relacionada com variações rápidas do estado de tensão originadas por acções excepcionais; pode ter consequências na segurança estrutural do descarregador principalmente se evolui rapidamente	Amarelo
	Infiltrações	➤ Infiltrações no descarregador a jusante	Podem indiciar a falta ou insuficiente drenagem	Azul
		➤ Infiltrações ou depósito de finos no descarregador a jusante ou à saída da conduta da descarga	Podem indiciar erosão interna na fundação do descarregador	Amarelo
	Movimentos	➤ Obstrução da soleira que controla o descarregador de cheias ➤ Movimentos verticais nas juntas, movimentos laterais ou rotação de muros, perda de alinhamento das lajes do descarregador ➤ Deformações da conduta	Perda da capacidade de vazão	Amarelo
Equipamentos	Válvulas	➤ Indicadores visuais óbvios de deterioração: ➤ Indícios de assentamentos, desalinhamentos ➤ Existência de depósitos, acumulação de elementos flutuantes, bloqueio de mecanismos ➤ Indícios de corrosão, cavitação ou abrasão ➤ Vandalismo, falha de energia ➤ Não operacionalidade de válvulas, falha em ensaios de funcionamento dos mecanismos	Perda de controlo dos órgãos, impossibilidade de esvaziamento, não operação da descarga de fundo, perda de capacidade de descarga	Azul (fora da época de cheias, pode afectar funcionalidade da barragem)
				Amarelo/Laranja (durante época de cheias, pode afectar segurança da barragem)

Tabela 8 – Definição do nível de alerta em função dos valores das grandezas registadas pelo sistema de observação da barragem

Nível de Alerta	Indicadores
AZUL	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Precipitações superiores a 20 mm em 3 horas ou a 10mm em 1 hora; ➤ Nível da albufeira na barragem ultrapassou a cota (467,25) – 0,25 m acima do NPA com tendência para subir.
AMARELO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nível da albufeira na barragem compreendido entre as cotas (467,25) e (468,00.) – NMC.
LARANJA	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nível da albufeira na barragem compreendido entre as cotas (468,00) e (469,70) – coroamento.
VERMELHO	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nível da albufeira na barragem superior à cota (469,70).

Tabela 9 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de aprendizagem do modelo ALBATROZ com base em dados “gerados” (1/7)
(entradas previstas através do modelo clássico da barragem; saídas com base em análise de especialista dos valores das entradas)

Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s	Classif. Caudal Percolado	Classif. Pressão Fundação	Classif. Pressão M.Jusan-te	Classif. Nível Alerta
444,00	444,00	441,50	440,50	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
445,00	444,23	441,71	440,54	0,00	0,11	0,02	0	0	0	0
446,00	444,46	441,92	440,58	0,00	0,22	0,04	0	0	0	0
447,00	444,69	442,13	440,63	0,00	0,33	0,05	0	0	0	0
448,00	444,92	442,33	440,67	0,00	0,44	0,06	0	0	0	0
449,00	445,15	442,54	440,71	0,00	0,55	0,06	0	0	0	0
450,00	445,38	442,75	440,75	0,00	0,67	0,07	0	0	0	0
451,00	445,60	442,96	440,79	0,00	0,78	0,07	0	0	0	0
452,00	445,83	443,17	440,83	0,00	0,89	0,07	0	0	0	0
453,00	446,06	443,38	440,88	0,00	1,00	0,08	0	0	0	0
454,00	446,29	443,58	440,92	0,00	1,11	0,08	0	0	0	0
455,00	446,52	443,79	440,96	0,00	1,22	0,08	0	0	0	0
456,00	446,75	444,00	441,00	0,00	1,33	0,08	0	0	0	0
457,00	446,98	444,21	441,04	0,00	1,44	0,08	0	0	0	0
458,00	447,21	444,42	441,08	0,00	1,55	0,09	0	0	0	0
459,00	447,44	444,63	441,13	0,00	1,66	0,09	0	0	0	0
460,00	447,67	444,83	441,17	0,00	1,77	0,09	0	0	0	1
461,00	447,90	445,04	441,21	0,00	1,88	0,09	0	0	0	1
462,00	448,13	445,25	441,25	0,00	2,00	0,09	0	0	0	1
463,00	448,35	445,46	441,29	0,00	2,11	0,09	0	0	0	1
464,00	448,58	445,67	441,33	0,00	2,22	0,09	0	0	0	1
465,00	448,81	445,88	441,38	0,00	2,33	0,09	0	0	0	1
466,00	449,04	446,08	441,42	0,00	2,44	0,09	0	0	0	1
467,00	449,27	446,29	441,46	0,00	2,55	0,09	0	0	0	1
444,00	444,00	441,50	440,50	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
445,00	444,23	441,71	440,54	0,08	0,11	0,02	0	0	1	1
446,00	444,46	441,92	440,58	0,17	0,22	0,04	0	0	1	1
447,00	444,69	442,13	440,63	0,25	0,33	0,05	0	0	1	1
448,00	444,92	442,33	440,67	0,33	0,44	0,06	0	0	1	1
449,00	445,15	442,54	440,71	0,42	0,55	0,06	0	0	1	1
450,00	445,38	442,75	440,75	0,50	0,67	0,07	0	0	1	1
451,00	445,60	442,96	440,79	0,58	0,78	0,07	0	0	1	1
452,00	445,83	443,17	440,83	0,67	0,89	0,07	0	0	1	1
453,00	446,06	443,38	440,88	0,75	1,00	0,08	0	0	1	1
454,00	446,29	443,58	440,92	0,83	1,11	0,08	0	0	1	1
455,00	446,52	443,79	440,96	0,92	1,22	0,08	0	0	1	1
456,00	446,75	444,00	441,00	1,00	1,33	0,08	0	0	1	1
457,00	446,98	444,21	441,04	1,08	1,44	0,08	0	0	1	1
458,00	447,21	444,42	441,08	1,17	1,55	0,09	0	0	1	1
459,00	447,44	444,63	441,13	1,25	1,66	0,09	0	0	1	1

Tabela 9 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de aprendizagem do modelo ALBATROZ (2/7)

Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s	Classif. Caudal Percolado	Classif. Pressão Fundação	Classif. Pressão M.Jusan-te	Classif. Nível Alerta
460,00	447,67	444,83	441,17	1,33	1,77	0,09	0	0	1	1
461,00	447,90	445,04	441,21	1,42	1,88	0,09	0	0	1	1
462,00	448,13	445,25	441,25	1,50	2,00	0,09	0	0	1	1
463,00	448,35	445,46	441,29	1,58	2,11	0,09	0	0	1	1
464,00	448,58	445,67	441,33	1,67	2,22	0,09	0	0	1	1
465,00	448,81	445,88	441,38	1,75	2,33	0,09	0	0	1	1
466,00	449,04	446,08	441,42	1,83	2,44	0,09	0	0	1	1
467,00	449,27	446,29	441,46	1,92	2,55	0,09	0	0	1	1
444,00	444,00	441,50	440,50	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
445,00	444,23	441,71	440,54	0,00	1,11	0,22	1	0	0	1
446,00	444,46	441,92	440,58	0,00	2,22	0,37	1	0	0	1
447,00	444,69	442,13	440,63	0,00	3,33	0,48	1	0	0	1
448,00	444,92	442,33	440,67	0,00	4,43	0,55	1	0	0	1
449,00	445,15	442,54	440,71	0,00	5,54	0,62	1	0	0	1
450,00	445,38	442,75	440,75	0,00	6,65	0,67	1	0	0	1
451,00	445,60	442,96	440,79	0,00	7,76	0,71	1	0	0	1
452,00	445,83	443,17	440,83	0,00	8,87	0,74	1	0	0	1
453,00	446,06	443,38	440,88	0,00	9,98	0,77	1	0	0	1
454,00	446,29	443,58	440,92	0,00	11,09	0,79	1	0	0	1
455,00	446,52	443,79	440,96	0,00	12,20	0,81	1	0	0	1
456,00	446,75	444,00	441,00	0,00	13,30	0,83	1	0	0	1
457,00	446,98	444,21	441,04	0,00	14,41	0,85	1	0	0	1
458,00	447,21	444,42	441,08	0,00	15,52	0,86	1	0	0	1
459,00	447,44	444,63	441,13	0,00	16,63	0,88	1	0	0	1
460,00	447,67	444,83	441,17	0,00	17,74	0,89	1	0	0	1
461,00	447,90	445,04	441,21	0,00	18,85	0,90	1	0	0	1
462,00	448,13	445,25	441,25	0,00	19,96	0,91	1	0	0	1
463,00	448,35	445,46	441,29	0,00	21,07	0,92	1	0	0	1
464,00	448,58	445,67	441,33	0,00	22,17	0,92	1	0	0	1
465,00	448,81	445,88	441,38	0,00	23,28	0,93	1	0	0	1
466,00	449,04	446,08	441,42	0,00	24,39	0,94	1	0	0	1
467,00	449,27	446,29	441,46	0,00	25,50	0,94	1	0	0	1
444,00	444,00	441,50	440,50	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0
445,00	444,23	441,71	440,54	0,08	1,11	0,22	1	0	1	2
446,00	444,46	441,92	440,58	0,17	2,22	0,37	1	0	1	2
447,00	444,69	442,13	440,63	0,25	3,33	0,48	1	0	1	2
448,00	444,92	442,33	440,67	0,33	4,43	0,55	1	0	1	2
449,00	445,15	442,54	440,71	0,42	5,54	0,62	1	0	1	2
450,00	445,38	442,75	440,75	0,50	6,65	0,67	1	0	1	2
451,00	445,60	442,96	440,79	0,58	7,76	0,71	1	0	1	2
452,00	445,83	443,17	440,83	0,67	8,87	0,74	1	0	1	2
453,00	446,06	443,38	440,88	0,75	9,98	0,77	1	0	1	2

Tabela 9 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de aprendizagem do modelo ALBATROZ (3/7)

Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percorrido em l/s	Caudal Relativo em l/s	Classif. Caudal Percorrido	Classif. Pressão Fundação	Classif. Pressão M.Jusante	Classif. Nível Alerta
454,00	446,29	443,58	440,92	0,83	11,09	0,79	1	0	1	2
455,00	446,52	443,79	440,96	0,92	12,20	0,81	1	0	1	2
456,00	446,75	444,00	441,00	1,00	13,30	0,83	1	0	1	2
457,00	446,98	444,21	441,04	1,08	14,41	0,85	1	0	1	2
458,00	447,21	444,42	441,08	1,17	15,52	0,86	1	0	1	2
459,00	447,44	444,63	441,13	1,25	16,63	0,88	1	0	1	2
460,00	447,67	444,83	441,17	1,33	17,74	0,89	1	0	1	2
461,00	447,90	445,04	441,21	1,42	18,85	0,90	1	0	1	2
462,00	448,13	445,25	441,25	1,50	19,96	0,91	1	0	1	2
463,00	448,35	445,46	441,29	1,58	21,07	0,92	1	0	1	2
464,00	448,58	445,67	441,33	1,67	22,17	0,92	1	0	1	2
465,00	448,81	445,88	441,38	1,75	23,28	0,93	1	0	1	2
466,00	449,04	446,08	441,42	1,83	24,39	0,94	1	0	1	2
467,00	449,27	446,29	441,46	1,92	25,50	0,94	1	0	1	2
444,00	444,00	444,00	440,50	0,00	0,00	0,00	0	1	0	1
445,00	444,23	444,23	440,54	0,00	0,11	0,02	0	1	0	1
446,00	444,46	444,46	440,58	0,00	0,22	0,04	0	1	0	1
447,00	444,69	444,69	440,63	0,00	0,33	0,05	0	1	0	1
448,00	444,92	444,92	440,67	0,00	0,44	0,06	0	1	0	1
449,00	445,15	445,15	440,71	0,00	0,55	0,06	0	1	0	1
450,00	445,38	445,38	440,75	0,00	0,67	0,07	0	1	0	1
451,00	445,60	445,60	440,79	0,00	0,78	0,07	0	1	0	1
452,00	445,83	445,83	440,83	0,00	0,89	0,07	0	1	0	1
453,00	446,06	446,06	440,88	0,00	1,00	0,08	0	1	0	1
454,00	446,29	446,29	440,92	0,00	1,11	0,08	0	1	0	1
455,00	446,52	446,52	440,96	0,00	1,22	0,08	0	1	0	1
456,00	446,75	446,75	441,00	0,00	1,33	0,08	0	1	0	1
457,00	446,98	446,98	441,04	0,00	1,44	0,08	0	1	0	1
458,00	447,21	447,21	441,08	0,00	1,55	0,09	0	1	0	1
459,00	447,44	447,44	441,13	0,00	1,66	0,09	0	1	0	1
460,00	447,67	447,67	441,17	0,00	1,77	0,09	0	1	0	1
461,00	447,90	447,90	441,21	0,00	1,88	0,09	0	1	0	1
462,00	448,13	448,13	441,25	0,00	2,00	0,09	0	1	0	1
463,00	448,35	448,35	441,29	0,00	2,11	0,09	0	1	0	1
464,00	448,58	448,58	441,33	0,00	2,22	0,09	0	1	0	1
465,00	448,81	448,81	441,38	0,00	2,33	0,09	0	1	0	1
466,00	449,04	449,04	441,42	0,00	2,44	0,09	0	1	0	1
467,00	449,27	449,27	441,46	0,00	2,55	0,09	0	1	0	1
444,00	444,00	441,50	441,50	0,00	0,00	0,00	0	1	0	1
445,00	444,23	441,71	441,71	0,00	0,11	0,02	0	1	0	1
446,00	444,46	441,92	441,92	0,00	0,22	0,04	0	1	0	1
447,00	444,69	442,13	442,13	0,00	0,33	0,05	0	1	0	1

Tabela 9 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de aprendizagem do modelo ALBATROZ (4/7)

Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s	Classif. Caudal Percolado	Classif. Pressão Fundação	Classif. Pressão M.Jusan-te	Classif. Nível Alerta
448,00	444,92	442,33	442,33	0,00	0,44	0,06	0	1	0	1
449,00	445,15	442,54	442,54	0,00	0,55	0,06	0	1	0	1
450,00	445,38	442,75	442,75	0,00	0,67	0,07	0	1	0	1
451,00	445,60	442,96	442,96	0,00	0,78	0,07	0	1	0	1
452,00	445,83	443,17	443,17	0,00	0,89	0,07	0	1	0	1
453,00	446,06	443,38	443,38	0,00	1,00	0,08	0	1	0	1
454,00	446,29	443,58	443,58	0,00	1,11	0,08	0	1	0	1
455,00	446,52	443,79	443,79	0,00	1,22	0,08	0	1	0	1
456,00	446,75	444,00	444,00	0,00	1,33	0,08	0	1	0	1
457,00	446,98	444,21	444,21	0,00	1,44	0,08	0	1	0	1
458,00	447,21	444,42	444,42	0,00	1,55	0,09	0	1	0	1
459,00	447,44	444,63	444,63	0,00	1,66	0,09	0	1	0	1
460,00	447,67	444,83	444,83	0,00	1,77	0,09	0	1	0	1
461,00	447,90	445,04	445,04	0,00	1,88	0,09	0	1	0	1
462,00	448,13	445,25	445,25	0,00	2,00	0,09	0	1	0	1
463,00	448,35	445,46	445,46	0,00	2,11	0,09	0	1	0	1
464,00	448,58	445,67	445,67	0,00	2,22	0,09	0	1	0	1
465,00	448,81	445,88	445,88	0,00	2,33	0,09	0	1	0	1
466,00	449,04	446,08	446,08	0,00	2,44	0,09	0	1	0	1
467,00	449,27	446,29	446,29	0,00	2,55	0,09	0	1	0	1
444,00	444,00	444,00	444,00	0,00	0,00	0,00	0	1	0	1
445,00	444,23	444,23	444,23	0,00	0,11	0,02	0	1	0	1
446,00	444,46	444,46	444,46	0,00	0,22	0,04	0	1	0	1
447,00	444,69	444,69	444,69	0,00	0,33	0,05	0	1	0	1
448,00	444,92	444,92	444,92	0,00	0,44	0,06	0	1	0	1
449,00	445,15	445,15	445,15	0,00	0,55	0,06	0	1	0	1
450,00	445,38	445,38	445,38	0,00	0,67	0,07	0	1	0	1
451,00	445,60	445,60	445,60	0,00	0,78	0,07	0	1	0	1
452,00	445,83	445,83	445,83	0,00	0,89	0,07	0	1	0	1
453,00	446,06	446,06	446,06	0,00	1,00	0,08	0	1	0	1
454,00	446,29	446,29	446,29	0,00	1,11	0,08	0	1	0	1
455,00	446,52	446,52	446,52	0,00	1,22	0,08	0	1	0	1
456,00	446,75	446,75	446,75	0,00	1,33	0,08	0	1	0	1
457,00	446,98	446,98	446,98	0,00	1,44	0,08	0	1	0	1
458,00	447,21	447,21	447,21	0,00	1,55	0,09	0	1	0	1
459,00	447,44	447,44	447,44	0,00	1,66	0,09	0	1	0	1
460,00	447,67	447,67	447,67	0,00	1,77	0,09	0	1	0	1
461,00	447,90	447,90	447,90	0,00	1,88	0,09	0	1	0	1
462,00	448,13	448,13	448,13	0,00	2,00	0,09	0	1	0	1
463,00	448,35	448,35	448,35	0,00	2,11	0,09	0	1	0	1
464,00	448,58	448,58	448,58	0,00	2,22	0,09	0	1	0	1
465,00	448,81	448,81	448,81	0,00	2,33	0,09	0	1	0	1

Tabela 9 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de aprendizagem do modelo ALBATROZ (5/7)

Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s	Classif. Caudal Percolado	Classif. Pressão Fundação	Classif. Pressão M.Jusan-te	Classif. Nível Alerta
466,00	449,04	449,04	449,04	0,00	2,44	0,09	0	1	0	1
467,00	449,27	449,27	449,27	0,00	2,55	0,09	0	1	0	1
444,00	444,00	444,00	444,00	0,00	0,00	0,00	0	1	0	1
445,00	444,23	444,23	444,23	0,08	0,11	0,02	0	1	1	2
446,00	444,46	444,46	444,46	0,17	0,22	0,04	0	1	1	2
447,00	444,69	444,69	444,69	0,25	0,33	0,05	0	1	1	2
448,00	444,92	444,92	444,92	0,33	0,44	0,06	0	1	1	2
449,00	445,15	445,15	445,15	0,42	0,55	0,06	0	1	1	2
450,00	445,38	445,38	445,38	0,50	0,67	0,07	0	1	1	2
451,00	445,60	445,60	445,60	0,58	0,78	0,07	0	1	1	2
452,00	445,83	445,83	445,83	0,67	0,89	0,07	0	1	1	2
453,00	446,06	446,06	446,06	0,75	1,00	0,08	0	1	1	2
454,00	446,29	446,29	446,29	0,83	1,11	0,08	0	1	1	2
455,00	446,52	446,52	446,52	0,92	1,22	0,08	0	1	1	2
456,00	446,75	446,75	446,75	1,00	1,33	0,08	0	1	1	2
457,00	446,98	446,98	446,98	1,08	1,44	0,08	0	1	1	2
458,00	447,21	447,21	447,21	1,17	1,55	0,09	0	1	1	2
459,00	447,44	447,44	447,44	1,25	1,66	0,09	0	1	1	2
460,00	447,67	447,67	447,67	1,33	1,77	0,09	0	1	1	2
461,00	447,90	447,90	447,90	1,42	1,88	0,09	0	1	1	2
462,00	448,13	448,13	448,13	1,50	2,00	0,09	0	1	1	2
463,00	448,35	448,35	448,35	1,58	2,11	0,09	0	1	1	2
464,00	448,58	448,58	448,58	1,67	2,22	0,09	0	1	1	2
465,00	448,81	448,81	448,81	1,75	2,33	0,09	0	1	1	2
466,00	449,04	449,04	449,04	1,83	2,44	0,09	0	1	1	2
467,00	449,27	449,27	449,27	1,92	2,55	0,09	0	1	1	2
444,00	444,00	444,00	444,00	0,00	0,00	0,00	0	1	0	1
445,00	444,23	444,23	444,23	0,08	1,11	0,22	1	1	1	3
446,00	444,46	444,46	444,46	0,17	2,22	0,37	1	1	1	3
447,00	444,69	444,69	444,69	0,25	3,33	0,48	1	1	1	3
448,00	444,92	444,92	444,92	0,33	4,43	0,55	1	1	1	3
449,00	445,15	445,15	445,15	0,42	5,54	0,62	1	1	1	3
450,00	445,38	445,38	445,38	0,50	6,65	0,67	1	1	1	3
451,00	445,60	445,60	445,60	0,58	7,76	0,71	1	1	1	3
452,00	445,83	445,83	445,83	0,67	8,87	0,74	1	1	1	3
453,00	446,06	446,06	446,06	0,75	9,98	0,77	1	1	1	3
454,00	446,29	446,29	446,29	0,83	11,09	0,79	1	1	1	3
455,00	446,52	446,52	446,52	0,92	12,20	0,81	1	1	1	3
456,00	446,75	446,75	446,75	1,00	13,30	0,83	1	1	1	3
457,00	446,98	446,98	446,98	1,08	14,41	0,85	1	1	1	3
458,00	447,21	447,21	447,21	1,17	15,52	0,86	1	1	1	3
459,00	447,44	447,44	447,44	1,25	16,63	0,88	1	1	1	3

Tabela 9 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de aprendizagem do modelo ALBATROZ (6/7)

Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s	Classif. Caudal Percolado	Classif. Pressão Fundação	Classif. Pressão M.Jusante	Classif. Nível Alerta
460,00	447,67	447,67	447,67	1,33	17,74	0,89	1	1	1	3
461,00	447,90	447,90	447,90	1,42	18,85	0,90	1	1	1	3
462,00	448,13	448,13	448,13	1,50	19,96	0,91	1	1	1	3
463,00	448,35	448,35	448,35	1,58	21,07	0,92	1	1	1	3
464,00	448,58	448,58	448,58	1,67	22,17	0,92	1	1	1	3
465,00	448,81	448,81	448,81	1,75	23,28	0,93	1	1	1	3
466,00	449,04	449,04	449,04	1,83	24,39	0,94	1	1	1	3
467,00	449,27	449,27	449,27	1,92	25,50	0,94	1	1	1	3
467,00	449,27	446,29	441,46	0,00	2,55	0,09	0	0	0	1
467,50	449,39	446,40	441,48	0,00	2,61	0,09	0	0	0	2
468,00	449,50	446,50	441,50	0,00	2,66	0,10	0	0	0	3
467,00	449,27	449,27	441,46	0,00	2,55	0,09	0	1	0	1
467,50	449,39	449,39	441,48	0,00	2,61	0,09	0	1	0	2
468,00	449,50	449,50	441,50	0,00	2,66	0,10	0	1	0	3
467,00	449,27	446,29	446,29	0,00	2,55	0,09	0	1	0	1
467,50	449,39	446,40	446,40	0,00	2,61	0,09	0	1	0	2
468,00	449,50	446,50	446,50	0,00	2,66	0,10	0	1	0	3
467,00	449,27	446,29	441,46	0,00	7,48	0,28	1	0	0	1
467,50	449,39	446,40	441,48	0,00	10,99	0,40	1	0	0	2
468,00	449,50	446,50	441,50	0,00	23,07	0,82	1	0	0	3
467,00	449,27	446,29	441,46	0,00	2,61	0,10	1	0	0	1
467,50	449,39	446,40	441,48	0,00	23,30	0,85	1	0	0	2
468,00	449,50	446,50	441,50	0,00	9,83	0,35	1	0	0	3
467,00	449,27	446,29	441,46	0,00	17,71	0,66	1	0	0	1
467,50	449,39	446,40	441,48	0,00	13,22	0,48	1	0	0	2
468,00	449,50	446,50	441,50	0,00	19,26	0,69	1	0	0	3
467,00	449,27	449,27	441,46	0,00	2,66	0,10	1	1	0	2
467,50	449,39	449,39	441,48	0,00	13,00	0,47	1	1	0	2
468,00	449,50	449,50	441,50	0,00	2,80	0,10	1	1	0	3
467,00	449,27	449,27	441,46	0,00	3,13	0,12	1	1	0	2
467,50	449,39	449,39	441,48	0,00	12,99	0,47	1	1	0	2
468,00	449,50	449,50	441,50	0,00	2,88	0,10	1	1	0	3
467,00	449,27	449,27	441,46	0,00	3,14	0,12	1	1	0	2
467,50	449,39	449,39	441,48	0,00	24,50	0,89	1	1	0	2
468,00	449,50	449,50	441,50	0,00	4,00	0,14	1	1	0	3
467,00	449,27	449,27	449,27	0,00	19,73	0,73	1	1	0	2
467,50	449,39	449,39	449,39	0,00	16,95	0,62	1	1	0	2
468,00	449,50	449,50	449,50	0,00	14,30	0,51	1	1	0	3
467,00	449,27	449,27	449,27	0,00	4,67	0,17	1	1	0	2
467,50	449,39	449,39	449,39	0,00	12,84	0,47	1	1	0	2
468,00	449,50	449,50	449,50	0,00	16,39	0,59	1	1	0	3
467,00	449,27	449,27	449,27	0,00	14,53	0,54	1	1	0	2

Tabela 9 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de aprendizagem do modelo ALBATROZ (7/7)

Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s	Classif. Caudal Percolado	Classif. Pressão Fundação	Classif. Pressão M.Jusante	Classif. Nível Alerta
467,50	449,39	449,39	449,39	0,00	4,47	0,16	1	1	0	2
468,00	449,50	449,50	449,50	0,00	25,96	0,93	1	1	0	3
467,00	449,27	449,27	441,46	0,99	2,55	0,09	0	1	1	2
467,50	449,39	449,39	441,48	0,51	2,61	0,09	0	1	1	2
468,00	449,50	449,50	441,50	2,69	2,66	0,10	0	1	1	3
467,00	449,27	446,29	446,29	2,76	2,55	0,09	0	1	1	2
467,50	449,39	446,40	446,40	0,17	2,61	0,09	0	1	1	2
468,00	449,50	446,50	446,50	1,45	2,66	0,10	0	1	1	3

Tabela 10 – Modelo ALBATROZ. Ficheiro tipo de dados para treino

7 20 4 // nº de neurónios

444 470

444 450.5

441.5 449.5

440.5 448

0 5

0 25

0 1

0 1

0 1

0 1

0 1

0 3

0.15 0.1 0.1 //alfa beta max_erro

238 20 // número de dados de treino e dados de verificação

468.00	449.50	446.50	441.50	0.00	9.83	0.35	1	0	0	3
467.50	449.39	449.39	441.48	0.51	2.61	0.09	0	1	1	2
464.00	448.58	445.67	441.33	1.67	2.22	0.09	0	0	1	1
456.00	446.75	444.00	441.00	0.00	13.30	0.83	1	0	0	1
464.00	448.58	448.58	441.33	0.00	2.22	0.09	0	1	0	1
450.00	445.38	442.75	440.75	0.00	6.65	0.67	1	0	0	1
444.00	444.00	441.50	440.50	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
451.00	445.60	442.96	440.79	0.00	7.76	0.71	1	0	0	1
459.00	447.44	447.44	447.44	0.00	1.66	0.09	0	1	0	1
451.00	445.60	445.60	445.60	0.58	0.78	0.07	0	1	1	2
458.00	447.21	447.21	447.21	1.17	1.55	0.09	0	1	1	2
451.00	445.60	445.60	440.79	0.00	0.78	0.07	0	1	0	1
447.00	444.69	444.69	444.69	0.25	3.33	0.48	1	1	1	3
464.00	448.58	445.67	445.67	0.00	2.22	0.09	0	1	0	1
457.00	446.98	446.98	441.04	0.00	1.44	0.08	0	1	0	1
447.00	444.69	442.13	442.13	0.00	0.33	0.05	0	1	0	1
460.00	447.67	447.67	447.67	1.33	1.77	0.09	0	1	1	2
444.00	444.00	441.50	440.50	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
461.00	447.90	447.90	447.90	0.00	1.88	0.09	0	1	0	1
461.00	447.90	445.04	441.21	1.42	1.88	0.09	0	0	1	1
447.00	444.69	442.13	440.63	0.25	3.33	0.48	1	0	1	2
467.00	449.27	449.27	441.46	0.00	2.66	0.10	1	1	0	2
467.50	449.39	449.39	449.39	0.00	4.47	0.16	1	1	0	2
459.00	447.44	444.63	444.63	0.00	1.66	0.09	0	1	0	1
464.00	448.58	445.67	441.33	0.00	2.22	0.09	0	0	0	1
461.00	447.90	447.90	447.90	1.42	18.85	0.90	1	1	1	3
449.00	445.15	445.15	440.71	0.00	0.55	0.06	0	1	0	1
468.00	449.50	449.50	449.50	0.00	25.96	0.93	1	1	0	3
467.50	449.39	449.39	441.48	0.00	13.00	0.47	1	1	0	2
459.00	447.44	444.63	441.13	1.25	1.66	0.09	0	0	1	1
467.50	449.39	446.40	441.48	0.00	13.22	0.48	1	0	0	2
467.50	449.39	449.39	441.48	0.00	2.61	0.09	0	1	0	2
457.00	446.98	446.98	446.98	1.08	14.41	0.85	1	1	1	3
463.00	448.35	445.46	441.29	0.00	21.07	0.92	1	0	0	1
456.00	446.75	446.75	446.75	1.00	1.33	0.08	0	1	1	2
454.00	446.29	446.29	440.92	0.00	1.11	0.08	0	1	0	1
466.00	449.04	446.08	441.42	1.83	2.44	0.09	0	0	1	1
445.00	444.23	444.23	444.23	0.08	1.11	0.22	1	1	1	3
460.00	447.67	444.83	444.83	0.00	1.77	0.09	0	1	0	1
447.00	444.69	442.13	440.63	0.00	3.33	0.48	1	0	0	1
460.00	447.67	444.83	441.17	0.00	17.74	0.89	1	0	0	1
444.00	444.00	444.00	440.50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	1
468.00	449.50	446.50	441.50	0.00	2.66	0.10	0	0	0	3
460.00	447.67	444.83	441.17	1.33	17.74	0.89	1	0	1	2
457.00	446.98	444.21	441.04	1.08	1.44	0.08	0	0	1	1

456.00	446.75	446.75	446.75	0.00	1.33	0.08	0	1	0	1
452.00	445.83	443.17	440.83	0.00	0.89	0.07	0	0	0	0
463.00	448.35	445.46	441.29	1.58	21.07	0.92	1	0	1	2
467.00	449.27	449.27	441.46	0.00	2.55	0.09	0	1	0	1
449.00	445.15	445.15	445.15	0.42	5.54	0.62	1	1	1	3
455.00	446.52	443.79	440.96	0.92	1.22	0.08	0	0	1	1
460.00	447.67	444.83	441.17	0.00	1.77	0.09	0	0	0	1
467.00	449.27	449.27	449.27	0.00	14.53	0.54	1	1	0	2
445.00	444.23	441.71	440.54	0.08	1.11	0.22	1	0	1	2
444.00	444.00	441.50	440.50	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
467.00	449.27	446.29	446.29	2.76	2.55	0.09	0	1	1	2
446.00	444.46	441.92	440.58	0.17	2.22	0.37	1	0	1	2
459.00	447.44	444.63	441.13	0.00	1.66	0.09	0	0	0	0
466.00	449.04	446.08	441.42	0.00	24.39	0.94	1	0	0	1
463.00	448.35	448.35	448.35	1.58	2.11	0.09	0	1	1	2
448.00	444.92	442.33	440.67	0.33	0.44	0.06	0	0	1	1
459.00	447.44	444.63	441.13	1.25	16.63	0.88	1	0	1	2
457.00	446.98	446.98	446.98	0.00	1.44	0.08	0	1	0	1
461.00	447.90	447.90	441.21	0.00	1.88	0.09	0	1	0	1
467.00	449.27	446.29	446.29	0.00	2.55	0.09	0	1	0	1
465.00	448.81	448.81	448.81	1.75	2.33	0.09	0	1	1	2
450.00	445.38	445.38	440.75	0.00	0.67	0.07	0	1	0	1
450.00	445.38	442.75	440.75	0.50	0.67	0.07	0	0	1	1
466.00	449.04	449.04	449.04	1.83	2.44	0.09	0	1	1	2
466.00	449.04	449.04	449.04	1.83	24.39	0.94	1	1	1	3
455.00	446.52	446.52	446.52	0.92	12.20	0.81	1	1	1	3
449.00	445.15	445.15	445.15	0.42	0.55	0.06	0	1	1	2
448.00	444.92	444.92	444.92	0.33	0.44	0.06	0	1	1	2
452.00	445.83	443.17	440.83	0.67	0.89	0.07	0	0	1	1
465.00	448.81	445.88	441.38	0.00	2.33	0.09	0	0	0	1
452.00	445.83	445.83	440.83	0.00	0.89	0.07	0	1	0	1
458.00	447.21	447.21	447.21	1.17	15.52	0.86	1	1	1	3
459.00	447.44	444.63	441.13	0.00	16.63	0.88	1	0	0	1
453.00	446.06	446.06	446.06	0.00	1.00	0.08	0	1	0	1
445.00	444.23	441.71	440.54	0.00	1.11	0.22	1	0	0	1
447.00	444.69	442.13	440.63	0.00	0.33	0.05	0	0	0	0
444.00	444.00	444.00	444.00	0.00	0.00	0.00	0	1	0	1
444.00	444.00	441.50	440.50	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0
449.00	445.15	442.54	440.71	0.42	5.54	0.62	1	0	1	2
446.00	444.46	441.92	441.92	0.00	0.22	0.04	0	1	0	1
468.00	449.50	446.50	446.50	1.45	2.66	0.10	0	1	1	3
454.00	446.29	446.29	446.29	0.83	11.09	0.79	1	1	1	3
462.00	448.13	448.13	448.13	1.50	19.96	0.91	1	1	1	3
468.00	449.50	446.50	441.50	0.00	19.26	0.69	1	0	0	3
446.00	444.46	444.46	444.46	0.17	2.22	0.37	1	1	1	3
451.00	445.60	442.96	440.79	0.58	0.78	0.07	0	0	1	1
465.00	448.81	445.88	441.38	1.75	2.33	0.09	0	0	1	1
451.00	445.60	445.60	445.60	0.00	0.78	0.07	0	1	0	1
453.00	446.06	443.38	440.88	0.00	9.98	0.77	1	0	0	1
467.50	449.39	446.40	441.48	0.00	23.30	0.85	1	0	0	2
454.00	446.29	443.58	443.58	0.00	1.11	0.08	0	1	0	1
467.00	449.27	449.27	441.46	0.00	3.13	0.12	1	1	0	2
462.00	448.13	445.25	441.25	0.00	2.00	0.09	0	0	0	1
461.00	447.90	445.04	441.21	0.00	18.85	0.90	1	0	0	1
465.00	448.81	448.81	448.81	1.75	23.28	0.93	1	1	1	3
468.00	449.50	449.50	449.50	0.00	14.30	0.51	1	1	0	3
456.00	446.75	444.00	441.00	0.00	1.33	0.08	0	0	0	0
468.00	449.50	446.50	441.50	0.00	23.07	0.82	1	0	0	3
468.00	449.50	449.50	441.50	0.00	2.66	0.10	0	1	0	3
452.00	445.83	443.17	440.83	0.00	8.87	0.74	1	0	0	1

448.00	444.92	442.33	440.67	0.00	0.44	0.06	0	0	0	0
454.00	446.29	446.29	446.29	0.00	1.11	0.08	0	1	0	1
445.00	444.23	444.23	444.23	0.00	0.11	0.02	0	1	0	1
467.50	449.39	446.40	446.40	0.00	2.61	0.09	0	1	0	2
467.00	449.27	449.27	449.27	0.00	4.67	0.17	1	1	0	2
453.00	446.06	446.06	446.06	0.75	1.00	0.08	0	1	1	2
444.00	444.00	441.50	441.50	0.00	0.00	0.00	0	1	0	1
454.00	446.29	443.58	440.92	0.00	11.09	0.79	1	0	0	1
454.00	446.29	443.58	440.92	0.83	1.11	0.08	0	0	1	1
452.00	445.83	445.83	445.83	0.00	0.89	0.07	0	1	0	1
466.00	449.04	446.08	446.08	0.00	2.44	0.09	0	1	0	1
461.00	447.90	447.90	447.90	1.42	1.88	0.09	0	1	1	2
451.00	445.60	442.96	440.79	0.00	0.78	0.07	0	0	0	0
455.00	446.52	443.79	440.96	0.92	12.20	0.81	1	0	1	2
453.00	446.06	446.06	440.88	0.00	1.00	0.08	0	1	0	1
458.00	447.21	444.42	441.08	1.17	1.55	0.09	0	0	1	1
467.50	449.39	446.40	446.40	0.17	2.61	0.09	0	1	1	2
465.00	448.81	448.81	441.38	0.00	2.33	0.09	0	1	0	1
467.00	449.27	449.27	441.46	0.99	2.55	0.09	0	1	1	2
465.00	448.81	445.88	445.88	0.00	2.33	0.09	0	1	0	1
453.00	446.06	443.38	440.88	0.75	1.00	0.08	0	0	1	1
467.50	449.39	446.40	441.48	0.00	10.99	0.40	1	0	0	2
466.00	449.04	446.08	441.42	1.83	24.39	0.94	1	0	1	2
468.00	449.50	449.50	441.50	0.00	2.80	0.10	1	1	0	3
459.00	447.44	447.44	441.13	0.00	1.66	0.09	0	1	0	1
462.00	448.13	445.25	441.25	0.00	19.96	0.91	1	0	0	1
458.00	447.21	447.21	441.08	0.00	1.55	0.09	0	1	0	1
458.00	447.21	444.42	441.08	1.17	15.52	0.86	1	0	1	2
457.00	446.98	444.21	441.04	0.00	1.44	0.08	0	0	0	0
448.00	444.92	442.33	442.33	0.00	0.44	0.06	0	1	0	1
449.00	445.15	442.54	440.71	0.00	0.55	0.06	0	0	0	0
467.00	449.27	446.29	441.46	0.00	25.50	0.94	1	0	0	1
445.00	444.23	441.71	440.54	0.08	0.11	0.02	0	0	1	1
445.00	444.23	441.71	440.54	0.00	0.11	0.02	0	0	0	0
468.00	449.50	446.50	446.50	0.00	2.66	0.10	0	1	0	3
454.00	446.29	443.58	440.92	0.00	1.11	0.08	0	0	0	0
455.00	446.52	443.79	440.96	0.00	12.20	0.81	1	0	0	1
464.00	448.58	445.67	441.33	0.00	22.17	0.92	1	0	0	1
460.00	447.67	447.67	447.67	1.33	17.74	0.89	1	1	1	3
462.00	448.13	448.13	448.13	1.50	2.00	0.09	0	1	1	2
448.00	444.92	442.33	440.67	0.33	4.43	0.55	1	0	1	2
459.00	447.44	447.44	447.44	1.25	1.66	0.09	0	1	1	2
451.00	445.60	445.60	445.60	0.58	7.76	0.71	1	1	1	3
467.50	449.39	449.39	441.48	0.00	24.50	0.89	1	1	0	2
467.00	449.27	449.27	441.46	0.00	2.55	0.09	0	1	0	1
455.00	446.52	443.79	440.96	0.00	1.22	0.08	0	0	0	0
464.00	448.58	445.67	441.33	1.67	22.17	0.92	1	0	1	2
451.00	445.60	442.96	440.79	0.58	7.76	0.71	1	0	1	2
461.00	447.90	445.04	441.21	0.00	1.88	0.09	0	0	0	1
467.00	449.27	446.29	441.46	0.00	7.48	0.28	1	0	0	1
463.00	448.35	445.46	441.29	0.00	2.11	0.09	0	0	0	1
457.00	446.98	444.21	441.04	0.00	14.41	0.85	1	0	0	1
468.00	449.50	449.50	449.50	0.00	16.39	0.59	1	1	0	3
457.00	446.98	444.21	444.21	0.00	1.44	0.08	0	1	0	1
455.00	446.52	446.52	446.52	0.92	1.22	0.08	0	1	1	2
467.00	449.27	449.27	449.27	1.92	2.55	0.09	0	1	1	2
452.00	445.83	443.17	440.83	0.67	8.87	0.74	1	0	1	2
446.00	444.46	441.92	440.58	0.00	0.22	0.04	0	0	0	0
458.00	447.21	447.21	447.21	0.00	1.55	0.09	0	1	0	1
449.00	445.15	445.15	445.15	0.00	0.55	0.06	0	1	0	1

463.00	448.35	445.46	441.29	1.58	2.11	0.09	0	0	1	1
451.00	445.60	442.96	442.96	0.00	0.78	0.07	0	1	0	1
453.00	446.06	443.38	443.38	0.00	1.00	0.08	0	1	0	1
463.00	448.35	448.35	448.35	1.58	21.07	0.92	1	1	1	3
446.00	444.46	444.46	444.46	0.00	0.22	0.04	0	1	0	1
450.00	445.38	442.75	440.75	0.00	0.67	0.07	0	0	0	0
467.00	449.27	449.27	449.27	0.00	19.73	0.73	1	1	0	2
468.00	449.50	449.50	441.50	0.00	2.88	0.10	1	1	0	3
447.00	444.69	444.69	440.63	0.00	0.33	0.05	0	1	0	1
453.00	446.06	446.06	446.06	0.75	9.98	0.77	1	1	1	3
463.00	448.35	448.35	448.35	0.00	2.11	0.09	0	1	0	1
459.00	447.44	447.44	447.44	1.25	16.63	0.88	1	1	1	3
464.00	448.58	448.58	448.58	0.00	2.22	0.09	0	1	0	1
452.00	445.83	445.83	445.83	0.67	0.89	0.07	0	1	1	2
464.00	448.58	448.58	448.58	1.67	2.22	0.09	0	1	1	2
444.00	444.00	444.00	444.00	0.00	0.00	0.00	0	1	0	1
463.00	448.35	448.35	441.29	0.00	2.11	0.09	0	1	0	1
465.00	448.81	448.81	448.81	0.00	2.33	0.09	0	1	0	1
466.00	449.04	446.08	441.42	0.00	2.44	0.09	0	0	0	1
444.00	444.00	444.00	444.00	0.00	0.00	0.00	0	1	0	1
446.00	444.46	441.92	440.58	0.17	0.22	0.04	0	0	1	1
457.00	446.98	446.98	446.98	1.08	1.44	0.08	0	1	1	2
465.00	448.81	445.88	441.38	1.75	23.28	0.93	1	0	1	2
454.00	446.29	443.58	440.92	0.83	11.09	0.79	1	0	1	2
449.00	445.15	442.54	440.71	0.42	0.55	0.06	0	0	1	1
450.00	445.38	445.38	445.38	0.50	0.67	0.07	0	1	1	2
467.00	449.27	446.29	441.46	1.92	25.50	0.94	1	0	1	2
447.00	444.69	444.69	444.69	0.00	0.33	0.05	0	1	0	1
457.00	446.98	444.21	441.04	1.08	14.41	0.85	1	0	1	2
453.00	446.06	443.38	440.88	0.00	1.00	0.08	0	0	0	0
447.00	444.69	444.69	444.69	0.25	0.33	0.05	0	1	1	2
445.00	444.23	441.71	441.71	0.00	0.11	0.02	0	1	0	1
456.00	446.75	444.00	444.00	0.00	1.33	0.08	0	1	0	1
454.00	446.29	446.29	446.29	0.83	1.11	0.08	0	1	1	2
445.00	444.23	444.23	444.23	0.08	0.11	0.02	0	1	1	2
467.00	449.27	446.29	441.46	0.00	17.71	0.66	1	0	0	1
462.00	448.13	445.25	441.25	1.50	19.96	0.91	1	0	1	2
448.00	444.92	442.33	440.67	0.00	4.43	0.55	1	0	0	1
467.00	449.27	449.27	441.46	0.00	3.14	0.12	1	1	0	2
450.00	445.38	442.75	442.75	0.00	0.67	0.07	0	1	0	1
456.00	446.75	444.00	441.00	1.00	13.30	0.83	1	0	1	2
466.00	449.04	449.04	449.04	0.00	2.44	0.09	0	1	0	1
446.00	444.46	444.46	444.46	0.17	0.22	0.04	0	1	1	2
467.00	449.27	446.29	441.46	0.00	2.61	0.10	1	0	0	1
467.50	449.39	449.39	449.39	0.00	12.84	0.47	1	1	0	2
455.00	446.52	443.79	443.79	0.00	1.22	0.08	0	1	0	1
456.00	446.75	446.75	441.00	0.00	1.33	0.08	0	1	0	1
467.50	449.39	449.39	441.48	0.00	12.99	0.47	1	1	0	2
458.00	447.21	444.42	441.08	0.00	1.55	0.09	0	0	0	0
467.00	449.27	446.29	441.46	1.92	2.55	0.09	0	0	1	1
464.00	448.58	448.58	448.58	1.67	22.17	0.92	1	1	1	3
452.00	445.83	443.17	443.17	0.00	0.89	0.07	0	1	0	1
467.00	449.27	449.27	449.27	0.00	2.55	0.09	0	1	0	1
449.00	445.15	442.54	442.54	0.00	0.55	0.06	0	1	0	1
467.50	449.39	446.40	441.48	0.00	2.61	0.09	0	0	0	2
462.00	448.13	448.13	448.13	0.00	2.00	0.09	0	1	0	1
468.00	449.50	449.50	441.50	0.00	4.00	0.14	1	1	0	3
448.00	444.92	444.92	444.92	0.33	4.43	0.55	1	1	1	3
453.00	446.06	443.38	440.88	0.75	9.98	0.77	1	0	1	2
446.00	444.46	444.46	440.58	0.00	0.22	0.04	0	1	0	1

458.00	447.21	444.42	444.42	0.00	1.55	0.09	0	1	0	1
467.00	449.27	446.29	441.46	0.00	2.55	0.09	0	0	0	1
468.00	449.50	449.50	441.50	2.69	2.66	0.10	0	1	1	3
455.00	446.52	446.52	440.96	0.00	1.22	0.08	0	1	0	1
467.00	449.27	446.29	441.46	0.00	2.55	0.09	0	0	0	1
447.00	444.69	442.13	440.63	0.25	0.33	0.05	0	0	1	1
450.00	445.38	445.38	445.38	0.50	6.65	0.67	1	1	1	3
467.00	449.27	449.27	449.27	1.92	25.50	0.94	1	1	1	3
460.00	447.67	447.67	441.17	0.00	1.77	0.09	0	1	0	1
450.00	445.38	442.75	440.75	0.50	6.65	0.67	1	0	1	2
448.00	444.92	444.92	444.92	0.00	0.44	0.06	0	1	0	1
460.00	447.67	447.67	447.67	0.00	1.77	0.09	0	1	0	1
446.00	444.46	441.92	440.58	0.00	2.22	0.37	1	0	0	1
467.50	449.39	449.39	449.39	0.00	16.95	0.62	1	1	0	2
458.00	447.21	444.42	441.08	0.00	15.52	0.86	1	0	0	1
449.00	445.15	442.54	440.71	0.00	5.54	0.62	1	0	0	1
450.00	445.38	445.38	445.38	0.00	0.67	0.07	0	1	0	1
461.00	447.90	445.04	441.21	1.42	18.85	0.90	1	0	1	2
463.00	448.35	445.46	445.46	0.00	2.11	0.09	0	1	0	1
467.00	449.27	446.29	446.29	0.00	2.55	0.09	0	1	0	1
462.00	448.13	445.25	441.25	1.50	2.00	0.09	0	0	1	1
448.00	444.92	444.92	440.67	0.00	0.44	0.06	0	1	0	1
466.00	449.04	449.04	441.42	0.00	2.44	0.09	0	1	0	1
460.00	447.67	444.83	441.17	1.33	1.77	0.09	0	0	1	1
462.00	448.13	448.13	441.25	0.00	2.00	0.09	0	1	0	1
456.00	446.75	444.00	441.00	1.00	1.33	0.08	0	0	1	1
465.00	448.81	445.88	441.38	0.00	23.28	0.93	1	0	0	1
462.00	448.13	445.25	445.25	0.00	2.00	0.09	0	1	0	1
452.00	445.83	445.83	445.83	0.67	8.87	0.74	1	1	1	3
445.00	444.23	444.23	440.54	0.00	0.11	0.02	0	1	0	1
455.00	446.52	446.52	446.52	0.00	1.22	0.08	0	1	0	1
461.00	447.90	445.04	445.04	0.00	1.88	0.09	0	1	0	1
456.00	446.75	446.75	446.75	1.00	13.30	0.83	1	1	1	3

Tabela 11 – Modelo ALBATROZ- Ficheiro tipo de saída do resultado do treino

```

Neural network v1.4 de 2010/09/30
Neural network v1.5 de 2010/11/09
Neural network v1.6 de 2010/11/15
Neural network v1.7 de 2010/12/07
Options train/retrain - or - test - or - run
Loading file...
Defining net...
Reading TSet...
Training...
It=100 alfa=0.15 Erro=2.481245896712119 (max=0.1)
It=200 alfa=0.15 Erro=1.6245528280994144 (max=0.1)
It=300 alfa=0.15 Erro=1.362499970987266 (max=0.1)
It=400 alfa=0.15 Erro=1.2334383213563034 (max=0.1)
It=500 alfa=0.15 Erro=1.1500304172283047 (max=0.1)
It=600 alfa=0.15 Erro=1.089272563739347 (max=0.1)
It=700 alfa=0.15 Erro=1.0424181107281636 (max=0.1)
It=800 alfa=0.15 Erro=1.0049503111604652 (max=0.1)
It=900 alfa=0.15 Erro=0.9740352528167778 (max=0.1)
It=1000 alfa=0.15 Erro=0.9477617488498773 (max=0.1)
    •
    •
    •

It=97000 alfa=0.15 Erro=0.10042185533874534 (max=0.1)
It=97100 alfa=0.15 Erro=0.10038173233246969 (max=0.1)
It=97200 alfa=0.15 Erro=0.100341623321847 (max=0.1)
It=97300 alfa=0.15 Erro=0.1003015276563777 (max=0.1)
It=97400 alfa=0.15 Erro=0.10026144469365948 (max=0.1)
It=97500 alfa=0.15 Erro=0.10022137379928964 (max=0.1)
It=97600 alfa=0.15 Erro=0.10018131434677785 (max=0.1)
It=97700 alfa=0.15 Erro=0.10014126571752241 (max=0.1)
It=97800 alfa=0.15 Erro=0.10010122730068508 (max=0.1)
It=97900 alfa=0.15 Erro=0.1000611984931089 (max=0.1)
It=98000 alfa=0.15 Erro=0.10002117869921298 (max=0.1)
It=98100 alfa=0.15 Erro=0.099999971661644 (max=0.1)
0.92308 0.84615 0.62500 0.13333 0.00000 0.39320 0.35000 -> 1.00000 0.00006 0.00000 2.95741
0.90385 0.82923 0.98625 0.13067 0.10200 0.10440 0.09000 -> 0.00000 0.99763 0.99812 2.00800
  
```

0.76923 0.70462 0.52125 0.11067 0.33400 0.08880 0.09000 -> 0.00000 0.00022 1.00000 0.97787
 0.19231 0.17692 0.13000 0.27200 0.00000 0.02200 0.06000 -> 0.00000 0.99999 0.00043 1.09318

•
 •
 •

0.90385 0.82923 0.61250 0.13067 0.00000 0.10440 0.09000 -> 0.00029 0.00356 0.00000 2.00740
 0.69231 0.63538 0.82875 1.01733 0.00000 0.08000 0.09000 -> 0.00000 1.00000 0.00164 1.01183
 0.92308 0.84615 1.00000 0.13333 0.00000 0.16000 0.14000 -> 1.00000 0.99980 0.00000 2.93277
 0.15385 0.14154 0.42750 0.58933 0.06600 0.17720 0.55000 -> 1.00000 1.00000 1.00000 2.97183
 0.34615 0.31692 0.23500 0.05067 0.15000 0.39920 0.77000 -> 1.00000 0.00011 1.00000 2.02904
 0.07692 0.07077 0.37000 0.01067 0.00000 0.00880 0.04000 -> 0.00000 0.99986 0.00001 0.95758
 0.53846 0.49385 0.36500 0.52267 0.00000 0.06200 0.09000 -> 0.00000 1.00000 0.00169 0.93175
 0.88462 0.81077 0.59875 0.12800 0.00000 0.10200 0.09000 -> 0.00117 0.00277 0.00000 0.99270
 0.92308 0.84615 1.00000 0.13333 0.53800 0.10640 0.10000 -> 0.00000 0.99997 1.00000 2.96431
 0.42308 0.38769 0.62750 0.06133 0.00000 0.04880 0.08000 -> 0.00000 0.99994 0.00000 0.94586
 0.88462 0.81077 0.59875 0.12800 0.00000 0.10200 0.09000 -> 0.00117 0.00277 0.00000 0.99270
 0.11538 0.10615 0.07875 0.01733 0.05000 0.01320 0.05000 -> 0.00000 0.00002 1.00000 1.11906
 0.23077 0.21231 0.48500 0.65067 0.10000 0.26600 0.67000 -> 1.00000 1.00000 1.00000 2.97642
 0.88462 0.81077 0.97125 1.16933 0.38400 1.02000 0.94000 -> 1.00000 1.00000 1.00000 2.99778
 0.61538 0.56462 0.77125 0.08933 0.00000 0.07080 0.09000 -> 0.00000 0.99993 0.00000 1.02984
 0.23077 0.21231 0.15625 0.03333 0.10000 0.26600 0.67000 -> 1.00000 0.00006 1.00000 1.99666
 0.15385 0.14154 0.42750 0.58933 0.00000 0.01760 0.06000 -> 0.00000 1.00000 0.00409 0.97313
 0.61538 0.56462 0.77125 0.95600 0.00000 0.07080 0.09000 -> 0.00000 1.00000 0.00308 0.98741
 0.07692 0.07077 0.05250 0.01067 0.00000 0.08880 0.37000 -> 1.00000 0.00000 0.00888 0.95182

Tabela 12 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de dados registados do período anterior ao tratamento (1/2)

Data de recolha	Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s
20-06-2006	447,30	442,45	440,55	438,25	0,00	1,40300	0,19219
12-07-2006	446,35	442,05	440,35	438,00	0,00	0,79400	0,12504
08-08-2006	446,40	442,10	440,40	437,90	0,00	0,75800	0,11844
28-08-2006	446,33	442,05	440,30	437,90	0,00	0,71120	0,11235
06-10-2006	446,30	442,20	440,35	437,95	0,00	0,83200	0,13206
23-10-2006	448,50	442,50	440,70	438,60	0,00	3,19500	0,37588
30-10-2006	455,12	447,10	444,45	442,35	0,00	12,20000	0,80688
06-11-2006	457,20	447,90	444,65	441,35	0,00	18,10000	1,05233
14-11-2006	457,55	448,90	445,45	442,95	1,17	16,70000	0,95157
15-11-2006	457,90	448,90	445,45	442,95	1,37	17,90000	1,00000
16-11-2006	457,60	449,25	445,75	443,15	1,42	17,90000	1,01705
17-11-2006	457,75	449,20	445,65	443,10	1,42	17,50000	0,98592
18-11-2006	458,35	449,55	445,95	443,40	1,92	18,10000	0,98638
19-11-2006	458,05	449,50	445,95	443,40	1,97	18,80000	1,04155
23-11-2006	457,75	449,50	446,15	443,65	0,00	18,10000	1,01972
25-11-2006	458,25	449,50	446,15	443,65	2,72	20,60000	1,12877
26-11-2006	456,65	449,50	446,15	443,65	2,67	18,40000	1,10511
30-11-2006	456,93	448,22	446,36	444,00	2,63	17,50000	1,03367
01-12-2006	457,50	448,25	446,32	444,02	2,66	17,50000	1,00000
02-12-2006	458,10	455,61	446,61	447,25	2,72	13,80000	0,76243
03-12-2006	457,80	449,45	446,50	444,25	2,72	19,00000	1,06742
10-12-2006	457,00	448,83	446,30	444,28	2,87	17,60000	1,03529
16-12-2006	457,40	448,75	446,62	444,67	2,97	17,30000	0,99425
18-12-2006	457,20	448,61	446,56	444,67	2,96	16,40000	0,95349
20-12-2006	456,80	448,66	446,61	444,78	3,00	17,20000	1,02381
27-12-2006	457,15	448,46	446,70	445,00	3,23	17,60000	1,02624
03-01-2007	457,35	448,55	446,91	445,20	3,42	16,90000	0,97406
10-01-2007	457,40	448,57	447,13	445,43	3,68	16,40000	0,94253
17-01-2007	457,40	448,60	447,21	445,60	3,68	16,50000	0,94828
19-01-2007	456,80	448,23	446,95	445,33	3,57	15,00000	0,89286
23-01-2007	457,20	448,50	447,20	445,60	3,72	16,00000	0,93023
26-01-2007	457,50	448,68	447,42	445,77	3,95	16,20000	0,92571
30-01-2007	457,00	448,43	447,20	445,63	3,88	14,70000	0,86471
02-02-2007	457,15	448,51	447,31	445,70	3,86	16,40000	0,95627
06-02-2007	456,60	448,20	447,05	445,53	3,72	14,10000	0,84940
09-02-2007	457,00	448,42	447,26	445,69	3,82	14,50000	0,85294
13-02-2007	457,75	448,92	447,70	446,14	4,26	15,90000	0,89577
16-02-2007	457,00	448,48	447,37	445,86	4,13	14,80000	0,87059
20-02-2007	457,50	448,79	447,68	446,16	4,28	16,50000	0,94286
23-02-2007	457,40	448,78	447,67	446,17	4,27	14,80000	0,85057

Tabela 12 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de dados registados do período anterior ao tratamento (2/2)

Data de recolha	Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s
27-02-2007	457,80	449,01	447,94	446,40	4,48	16,10000	0,90449
02-03-2007	457,65	449,02	447,90	446,40	4,42	15,50000	0,87819
06-03-2007	457,35	448,84	447,75	446,29	4,38	15,70000	0,90490
09-03-2007	457,35	448,79	448,76	446,29	4,42	15,80000	0,91066
13-03-2007	457,35	448,84	447,83	446,42	4,50	15,80000	0,91066
16-03-2007	456,70	448,44	447,53	446,12	4,31	14,80000	0,88623
27-03-2007	456,95	448,66	447,77	446,48	4,60	14,80000	0,87316
30-03-2007	457,05	448,74	447,86	446,55	4,72	16,10000	0,94428
03-04-2007	457,10	448,81	447,96	446,60	4,86	15,50000	0,90643
10-04-2007	457,10	448,83	448,06	446,73	4,95	15,00000	0,87719
13-04-2007	457,05	448,81	448,07	446,76	5,02	15,30000	0,89736
17-04-2007	457,00	448,79	448,04	446,78	5,00	14,50000	0,85294
24-04-2007	456,80	448,71	447,97	446,77	4,97	14,30000	0,85119
27-04-2007	456,90	448,78	448,08	446,87	5,03	14,50000	0,85799
30-04-2007	457,05	448,92	448,22	446,99	5,19	15,20000	0,89150
04-05-2007	457,40	449,20	448,39	447,20	5,36	15,40000	0,88506
08-05-2007	456,85	448,84	448,10	446,95	5,19	14,00000	0,83086
12-05-2007	456,95	448,92	448,20	447,02	5,28	14,00000	0,82596
15-05-2007	457,00	448,96	448,21	447,06	5,27	13,90000	0,81765
18-05-2007	457,00	449,00	448,27	447,12	5,39	13,70000	0,80588
24-05-2007	457,10	449,10	448,36	447,24	5,52	13,70000	0,80117
28-05-2007	457,10	449,20	448,43	447,31	5,52	13,90000	0,81287
01-06-2007	457,20	449,18	448,44	447,32	5,52	13,60000	0,79070
05-06-2007	457,20	449,17	448,50	447,32	5,54	13,70000	0,79651
08-06-2007	457,20	449,09	448,46	447,27	5,47	13,30000	0,77326
12-06-2007	457,15	449,04	448,38	447,21	5,40	13,20000	0,76968
15-06-2007	457,00	449,04	448,31	447,17	5,38	12,90000	0,75882
20-06-2007	457,20	449,06	448,38	447,03	5,35	13,40000	0,77907
22-06-2007	457,20	449,03	448,33	446,93	5,25	13,30000	0,77326
26-06-2007	457,20	448,97	448,28	446,78	5,11	13,30000	0,77326
29-06-2007	457,10	448,93	448,25	446,71	5,07	12,80000	0,74854
03-07-2007	457,00	448,87	448,19	446,60	5,02	13,10000	0,77059
10-07-2007	456,80	448,74	448,14	446,54	4,92	13,10000	0,77976
13-07-2007	456,65	448,65	447,96	446,44	4,81	13,20000	0,79279
17-07-2007	456,30	448,08	447,56	446,06	4,67	12,40000	0,76074
20-07-2007	456,05	448,32	447,58	446,01	4,47	11,70000	0,72897

Tabela 13 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de dados registados do período posterior ao tratamento (1/3)

Data de recolha	Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s
02-10-2007	448,70	441,90	441,37	439,83	0,00	2,80430	0,32233
09-10-2007	448,55	441,81	441,35	439,79	0,49	1,62244	0,18976
16-10-2007	448,35	441,55	441,13	439,53	0,49	1,55631	0,18638
23-10-2007	448,10	441,31	440,79	439,00	0,00	1,30153	0,16068
30-10-2007	447,85	441,03	440,58	438,86	0,47	0,62313	0,07938
06-11-2007	447,55	441,37	440,49	438,75	0,00	0,55144	0,07304
13-11-2007	447,33	441,20	440,44	438,60	0,00	0,55144	0,07523
23-11-2007	447,30	441,20	440,33	438,50	0,00	0,62313	0,08536
04-12-2007	447,10	441,11	440,38	438,54	0,00	0,42247	0,05950
11-12-2007	447,05	441,00	440,31	438,46	0,00	0,55144	0,07822
26-12-2007	447,10	441,00	440,31	438,69	0,00	0,58806	0,08283
04-01-2008	447,50	441,55	439,48	438,57	0,46	0,64806	0,08641
08-01-2008	446,60	441,20	439,40	438,52	0,00	0,56313	0,08532
22-01-2008	448,43	441,54	439,42	438,47	0,41	0,58806	0,06976
24-01-2008	448,63	441,60	439,41	438,53	0,43	0,50029	0,05797
29-01-2008	449,20	441,76	439,50	438,50	0,43	0,50029	0,05438
01-02-2008	449,55	441,75	439,53	438,60	0,42	0,45909	0,04807
07-02-2008	450,12	441,90	439,56	438,60	0,41	0,45909	0,04536
12-02-2008	450,92	442,30	439,71	438,73	0,41	0,45909	0,04204
15-02-2008	451,15	442,70	439,70	438,74	0,41	0,68925	0,06182
19-02-2008	451,53	443,04	439,80	438,75	0,41	0,58806	0,05100
22-02-2008	451,96	443,23	439,86	438,79	0,41	0,58806	0,04917
26-02-2008	452,38	443,41	439,83	438,71	0,42	0,64806	0,05235
29-02-2008	452,72	443,51	439,89	438,75	0,40	0,58806	0,04623
04-03-2008	453,12	443,65	439,96	438,80	0,40	0,58477	0,04457
07-03-2008	453,50	443,77	440,00	438,82	0,41	0,58806	0,04356
11-03-2008	453,67	444,00	440,04	438,82	0,41	0,58806	0,04302
14-03-2008	453,85	444,07	440,24	438,84	0,41	0,66122	0,04774
18-03-2008	454,07	444,20	440,37	438,84	0,42	0,64806	0,04606
25-03-2008	454,45	444,20	440,42	438,72	0,37	0,62313	0,04312
28-03-2008	454,60	444,32	440,48	438,80	0,40	0,62313	0,04268
04-04-2008	454,89	444,41	440,56	438,79	0,40	0,62313	0,04185
08-04-2008	455,13	444,52	440,63	438,80	0,40	0,62313	0,04118
11-04-2008	456,30	444,73	440,83	439,00	0,40	1,35479	0,08312
15-04-2008	457,33	445,20	441,38	439,09	0,42	0,95080	0,05486
18-04-2008	457,85	445,42	441,43	439,17	0,41	0,94748	0,05308
22-04-2008	459,48	445,96	441,92	439,37	0,40	1,35479	0,06955
24-04-2008	459,90	446,20	442,41	439,45	0,41	1,72227	0,08655
29-04-2008	460,48	446,35	442,19	439,46	0,39	1,27229	0,06212
03-05-2008	460,73	446,43	442,57	439,48	0,41	1,44527	0,06972

Tabela 13 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de dados registados do período posterior ao tratamento (2/3)

Data de recolha	Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s
06-05-2008	460,83	446,47	442,70	439,48	0,40	1,50077	0,07205
09-05-2008	460,97	446,56	442,67	439,50	0,40	1,56700	0,07473
13-05-2008	461,36	446,76	444,34	439,92	0,59	2,20570	0,10326
16-05-2008	461,50	446,85	444,70	439,60	0,42	1,68244	0,07825
20-05-2008	461,61	446,77	442,70	439,55	0,40	1,64124	0,07595
23-05-2008	461,71	446,86	442,52	439,56	0,40	1,58124	0,07283
28-05-2008	461,93	446,26	441,10	439,57	0,40	1,68139	0,07667
30-05-2008	461,80	446,24	441,41	439,57	0,40	1,58124	0,07253
06-06-2008	461,97	446,21	440,92	439,53	0,41	1,40811	0,06409
11-06-2008	461,99	446,20	441,48	439,51	0,42	1,58124	0,07191
13-06-2008	461,96	446,20	441,63	439,46	0,40	1,68244	0,07661
20-06-2008	462,00	446,23	440,73	439,38	0,42	1,58124	0,07187
24-06-2008	461,93	446,20	440,74	439,50	0,42	1,60384	0,07313
27-06-2008	461,95	446,20	440,76	439,49	0,42	1,70405	0,07763
01-07-2008	461,98	446,20	441,10	439,49	0,42	1,62545	0,07395
04-07-2008	461,98	446,20	441,41	438,93	0,06	1,62545	0,07395
11-07-2008	461,94	446,20	441,04	438,92	0,06	1,60384	0,07310
15-07-2008	461,90	446,20	441,14	438,95	0,07	1,60384	0,07323
18-07-2008	461,84	446,20	441,30	438,96	0,07	1,60384	0,07344
24-07-2008	461,77	446,18	440,82	438,93	0,11	1,60384	0,07367
01-08-2008	461,71	446,09	441,20	438,87	0,09	1,60384	0,07388
29-08-2008	460,83	445,90	440,94	438,72	0,12	1,62244	0,07789
12-09-2008	460,25	445,64	441,23	438,66	0,07	1,62244	0,08012
19-09-2008	460,12	445,51	440,61	438,62	0,00	1,62244	0,08064
26-09-2008	459,96	445,42	440,79	438,65	0,06	1,62244	0,08128
03-10-2008	459,70	445,34	440,50	438,67	0,06	1,68244	0,08540
17-10-2008	459,48	445,13	441,98	438,68	0,07	1,40886	0,07232
25-10-2008	459,18	444,99	440,70	438,65	0,02	1,58124	0,08244
28-11-2008	458,85	444,68	440,58	438,76	0,00	1,40886	0,07474
06-12-2008	458,85	444,61	440,70	438,76	0,00	1,54005	0,08170
10-12-2008	458,88	444,61	440,70	438,76	0,00	1,62065	0,08584
10-02-2009	463,28	444,69	441,25	439,49	0,00	2,62507	0,11276
12-02-2009	463,65	444,84	441,55	439,59	0,00	2,58026	0,10910
21-02-2009	464,92	445,37	442,02	439,70	0,00	2,94503	0,11818
27-04-2009	466,32	446,29	442,10	440,03	2,28	3,32097	0,12618
05-05-2009	466,10	446,16	441,85	440,42	1,90	3,40613	0,13050
19-05-2009	465,79	446,05	441,68	440,30	1,84	3,19949	0,12406
12-06-2009	465,19	445,77	441,44	440,08	1,78	3,04889	0,12104
29-06-2009	464,90	445,63	441,35	439,88	1,74	2,76416	0,11101
13-07-2009	464,48	445,45	441,20	439,85	1,71	2,57493	0,10518

Tabela 13 – Barragem de Valtorno/Mourão. Série de dados registados do período posterior ao tratamento (3/3)

Data de recolha	Nível da Albufeira	Cota da água no PH1/4	Cota da água no PH4/4	Cota da água no PH7/4	Altura da água no PH8/4	Caudal Percolado em l/s	Caudal Relativo em l/s
12-08-2009	463,18	444,91	440,89	439,57	1,29	2,38957	0,10309
10-09-2009	462,00	444,46	440,76	439,38	0,38	1,87573	0,08526
09-10-2009	460,70	444,12	440,64	439,37	0,00	1,76822	0,08542
12-11-2009	459,60	443,84	440,35	439,31	0,00	1,61121	0,08220
14-12-2009	459,30	443,52	440,56	439,29	0,00	1,63986	0,08497
08-01-2010	467,03	447,01	443,18	441,25	1,71	5,13114	0,18983
08-02-2010	467,03	447,06	443,40	441,98	2,08	4,65365	0,17217
12-03-2010	467,06	447,38	443,87	442,49	2,34	5,28010	0,19513
12-04-2010	467,06	447,37	444,01	442,70	2,44	4,79325	0,17713
10-05-2010	467,02	447,30	443,92	442,78	2,63	4,50398	0,16669
14-06-2010	467,00	447,11	443,93	442,66	2,54	4,49617	0,16652
07-07-2010	466,90	447,01	443,80	442,49	2,49	4,34770	0,16162
09-08-2010	466,35	446,52	443,39	442,11	2,26	3,54591	0,13457
07-10-2010	465,80	445,98	442,93	441,46	2,14	3,09234	0,11986
04-11-2010	465,60	446,20	443,37	441,76	2,15	3,05680	0,11941

Tabela 14 – Modelo ALBATROZ. Ficheiro – tipo de dados para diagnóstico para a Fase da barragem anterior à reabilitação

76						
447.30	442.45	440.55	438.25	0.00	1.40	0.19
446.35	442.05	440.35	438.00	0.00	0.79	0.13
446.40	442.10	440.40	437.90	0.00	0.76	0.12
446.33	442.05	440.30	437.90	0.00	0.71	0.11
446.30	442.20	440.35	437.95	0.00	0.83	0.13
448.50	442.50	440.70	438.60	0.00	3.20	0.38
455.12	447.10	444.45	442.35	0.00	12.20	0.81
457.20	447.90	444.65	441.35	0.00	18.10	1.05
457.55	448.90	445.45	442.95	1.17	16.70	0.95
457.90	448.90	445.45	442.95	1.37	17.90	1.00
457.60	449.25	445.75	443.15	1.42	17.90	1.02
457.75	449.20	445.65	443.10	1.42	17.50	0.99
458.35	449.55	445.95	443.40	1.92	18.10	0.99
458.05	449.50	445.95	443.40	1.97	18.80	1.04
457.75	449.50	446.15	443.65	0.00	18.10	1.02
458.25	449.50	446.15	443.65	2.72	20.60	1.13
456.65	449.50	446.15	443.65	2.67	18.40	1.11
456.93	448.22	446.36	444.00	2.63	17.50	1.03
457.50	448.25	446.32	444.02	2.66	17.50	1.00
458.10	455.61	446.61	447.25	2.72	13.80	0.76
457.80	449.45	446.50	444.25	2.72	19.00	1.07
457.00	448.83	446.30	444.28	2.87	17.60	1.04
457.40	448.75	446.62	444.67	2.97	17.30	0.99
457.20	448.61	446.56	444.67	2.96	16.40	0.95
456.80	448.66	446.61	444.78	3.00	17.20	1.02
457.15	448.46	446.70	445.00	3.23	17.60	1.03
457.35	448.55	446.91	445.20	3.42	16.90	0.97
457.40	448.57	447.13	445.43	3.68	16.40	0.94
457.40	448.60	447.21	445.60	3.68	16.50	0.95
456.80	448.23	446.95	445.33	3.57	15.00	0.89
457.20	448.50	447.20	445.60	3.72	16.00	0.93
457.50	448.68	447.42	445.77	3.95	16.20	0.93
457.00	448.43	447.20	445.63	3.88	14.70	0.86
457.15	448.51	447.31	445.70	3.86	16.40	0.96
456.60	448.20	447.05	445.53	3.72	14.10	0.85
457.00	448.42	447.26	445.69	3.82	14.50	0.85
457.75	448.92	447.70	446.14	4.26	15.90	0.90
457.00	448.48	447.37	445.86	4.13	14.80	0.87
457.50	448.79	447.68	446.16	4.28	16.50	0.94
457.40	448.78	447.67	446.17	4.27	14.80	0.85
457.80	449.01	447.94	446.40	4.48	16.10	0.90
457.65	449.02	447.90	446.40	4.42	15.50	0.88
457.35	448.84	447.75	446.29	4.38	15.70	0.90
457.35	448.79	448.76	446.29	4.42	15.80	0.91
457.35	448.84	447.83	446.42	4.50	15.80	0.91
456.70	448.44	447.53	446.12	4.31	14.80	0.89
456.95	448.66	447.77	446.48	4.60	14.80	0.87
457.05	448.74	447.86	446.55	4.72	16.10	0.94
457.10	448.81	447.96	446.60	4.86	15.50	0.91
457.10	448.83	448.06	446.73	4.95	15.00	0.88
457.05	448.81	448.07	446.76	5.02	15.30	0.90
457.00	448.79	448.04	446.78	5.00	14.50	0.85
456.80	448.71	447.97	446.77	4.97	14.30	0.85
456.90	448.78	448.08	446.87	5.03	14.50	0.86
457.05	448.92	448.22	446.99	5.19	15.20	0.89
457.40	449.20	448.39	447.20	5.36	15.40	0.89

456.85	448.84	448.10	446.95	5.19	14.00	0.83
456.95	448.92	448.20	447.02	5.28	14.00	0.83
457.00	448.96	448.21	447.06	5.27	13.90	0.82
457.00	449.00	448.27	447.12	5.39	13.70	0.81
457.10	449.10	448.36	447.24	5.52	13.70	0.80
457.10	449.20	448.43	447.31	5.52	13.90	0.81
457.20	449.18	448.44	447.32	5.52	13.60	0.79
457.20	449.17	448.50	447.32	5.54	13.70	0.80
457.20	449.09	448.46	447.27	5.47	13.30	0.77
457.15	449.04	448.38	447.21	5.40	13.20	0.77
457.00	449.04	448.31	447.17	5.38	12.90	0.76
457.20	449.06	448.38	447.03	5.35	13.40	0.78
457.20	449.03	448.33	446.93	5.25	13.30	0.77
457.20	448.97	448.28	446.78	5.11	13.30	0.77
457.10	448.93	448.25	446.71	5.07	12.80	0.75
457.00	448.87	448.19	446.60	5.02	13.10	0.77
456.80	448.74	448.14	446.54	4.92	13.10	0.78
456.65	448.65	447.96	446.44	4.81	13.20	0.79
456.30	448.08	447.56	446.06	4.67	12.40	0.76
456.05	448.32	447.58	446.01	4.47	11.70	0.73

Tabela 15 – Modelo Albatroz. Ficheiro tipo de resultados do diagnóstico para a Fase da barragem anterior à reabilitação

Neural network v1.4 de 2010/09/30

Neural network v1.5 de 2010/11/09

Neural network v1.6 de 2010/11/15

Neural network v1.7 de 2010/12/07

Options train/retrain - or - test - or - run

Loading file...

Defining net...

Read trained network...

Read rede.set datafile...

Reading New Data...

Compute new data

447.30000	442.45000	440.55000	438.25000	0.00000	1.40000	0.19000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.03575
446.35000	442.05000	440.35000	438.00000	0.00000	0.79000	0.13000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.01183
446.40000	442.10000	440.40000	437.90000	0.00000	0.76000	0.12000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.00995
446.33000	442.05000	440.30000	437.90000	0.00000	0.71000	0.11000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.00825
446.30000	442.20000	440.35000	437.95000	0.00000	0.83000	0.13000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.01340
448.50000	442.50000	440.70000	438.60000	0.00000	3.20000	0.38000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.05534
455.12000	447.10000	444.45000	442.35000	0.00000	12.20000	0.81000	->	1.00000	0.61373	0.00292	2.32136
457.20000	447.90000	444.65000	441.35000	0.00000	18.10000	1.05000	->	1.00000	0.00041	0.00127	0.66339
457.55000	448.90000	445.45000	442.95000	1.17000	16.70000	0.95000	->	1.00000	0.84531	1.00000	2.94408
457.90000	448.90000	445.45000	442.95000	1.37000	17.90000	1.00000	->	1.00000	0.74013	1.00000	2.92617
457.60000	449.25000	445.75000	443.15000	1.42000	17.90000	1.02000	->	1.00000	0.86929	1.00000	2.92267
457.75000	449.20000	445.65000	443.10000	1.42000	17.50000	0.99000	->	1.00000	0.81159	1.00000	2.89624
458.35000	449.55000	445.95000	443.40000	1.92000	18.10000	0.99000	->	1.00000	0.87773	1.00000	2.85726
458.05000	449.50000	445.95000	443.40000	1.97000	18.80000	1.04000	->	1.00000	0.87807	1.00000	2.86785
457.75000	449.50000	446.15000	443.65000	0.00000	18.10000	1.02000	->	1.00000	0.99275	0.00200	2.77355
458.25000	449.50000	446.15000	443.65000	2.72000	20.60000	1.13000	->	1.00000	0.95669	1.00000	2.95730
456.65000	449.50000	446.15000	443.65000	2.67000	18.40000	1.11000	->	1.00000	0.97790	1.00000	2.96402
456.93000	448.22000	446.36000	444.00000	2.63000	17.50000	1.03000	->	1.00000	0.99809	1.00000	2.97836
457.50000	448.25000	446.32000	444.02000	2.66000	17.50000	1.00000	->	1.00000	0.99793	1.00000	2.97840
458.10000	455.61000	446.61000	447.25000	2.72000	13.80000	0.76000	->	1.00000	0.99942	1.00000	3.00000
457.80000	449.45000	446.50000	444.25000	2.72000	19.00000	1.07000	->	1.00000	0.99627	1.00000	2.97587
457.00000	448.83000	446.30000	444.28000	2.87000	17.60000	1.04000	->	1.00000	0.99766	1.00000	2.97935
457.40000	448.75000	446.62000	444.67000	2.97000	17.30000	0.99000	->	1.00000	0.99893	1.00000	2.98205
457.20000	448.61000	446.56000	444.67000	2.96000	16.40000	0.95000	->	1.00000	0.99902	1.00000	2.98237
456.80000	448.66000	446.61000	444.78000	3.00000	17.20000	1.02000	->	1.00000	0.99907	1.00000	2.98248
457.15000	448.46000	446.70000	445.00000	3.23000	17.60000	1.03000	->	1.00000	0.99922	1.00000	2.98314

457.35000 448.55000 446.91000 445.20000 3.42000 16.90000 0.97000 -> 1.00000 0.99935 1.00000 **2.98368**
 457.40000 448.57000 447.13000 445.43000 3.68000 16.40000 0.94000 -> 1.00000 0.99944 1.00000 **2.98411**
 457.40000 448.60000 447.21000 445.60000 3.68000 16.50000 0.95000 -> 1.00000 0.99947 1.00000 **2.98425**
 456.80000 448.23000 446.95000 445.33000 3.57000 15.00000 0.89000 -> 1.00000 0.99946 1.00000 **2.98426**
 457.20000 448.50000 447.20000 445.60000 3.72000 16.00000 0.93000 -> 1.00000 0.99948 1.00000 **2.98435**
 457.50000 448.68000 447.42000 445.77000 3.95000 16.20000 0.93000 -> 1.00000 0.99950 1.00000 **2.98448**
 457.00000 448.43000 447.20000 445.63000 3.88000 14.70000 0.86000 -> 1.00000 0.99951 1.00000 **2.98474**
 457.15000 448.51000 447.31000 445.70000 3.86000 16.40000 0.96000 -> 1.00000 0.99949 1.00000 **2.98434**
 456.60000 448.20000 447.05000 445.53000 3.72000 14.10000 0.85000 -> 1.00000 0.99951 1.00000 **2.98473**
 457.00000 448.42000 447.26000 445.69000 3.82000 14.50000 0.85000 -> 1.00000 0.99953 1.00000 **2.98498**
 457.75000 448.92000 447.70000 446.14000 4.26000 15.90000 0.90000 -> 1.00000 0.99955 1.00000 **2.98499**
 457.00000 448.48000 447.37000 445.86000 4.13000 14.80000 0.87000 -> 1.00000 0.99954 1.00000 **2.98487**
 457.50000 448.79000 447.68000 446.16000 4.28000 16.50000 0.94000 -> 1.00000 0.99954 1.00000 **2.98473**
 457.40000 448.78000 447.67000 446.17000 4.27000 14.80000 0.85000 -> 1.00000 0.99958 1.00000 **2.98563**
 457.80000 449.01000 447.94000 446.40000 4.48000 16.10000 0.90000 -> 1.00000 0.99958 1.00000 **2.98531**
 457.65000 449.02000 447.90000 446.40000 4.42000 15.50000 0.88000 -> 1.00000 0.99959 1.00000 **2.98560**
 457.35000 448.84000 447.75000 446.29000 4.38000 15.70000 0.90000 -> 1.00000 0.99957 1.00000 **2.98513**
 457.35000 448.79000 448.76000 446.29000 4.42000 15.80000 0.91000 -> 1.00000 0.99962 1.00000 **2.98567**
 457.35000 448.84000 447.83000 446.42000 4.50000 15.80000 0.91000 -> 1.00000 0.99957 1.00000 **2.98514**
 456.70000 448.44000 447.53000 446.12000 4.31000 14.80000 0.89000 -> 1.00000 0.99956 1.00000 **2.98497**
 456.95000 448.66000 447.77000 446.48000 4.60000 14.80000 0.87000 -> 1.00000 0.99960 1.00000 **2.98558**
 457.05000 448.74000 447.86000 446.55000 4.72000 16.10000 0.94000 -> 1.00000 0.99957 1.00000 **2.98492**
 457.10000 448.81000 447.96000 446.60000 4.86000 15.50000 0.91000 -> 1.00000 0.99958 1.00000 **2.98517**
 457.10000 448.83000 448.06000 446.73000 4.95000 15.00000 0.88000 -> 1.00000 0.99961 1.00000 **2.98571**
 457.05000 448.81000 448.07000 446.76000 5.02000 15.30000 0.90000 -> 1.00000 0.99960 1.00000 **2.98542**
 457.00000 448.79000 448.04000 446.78000 5.00000 14.50000 0.85000 -> 1.00000 0.99963 1.00000 **2.98629**
 456.80000 448.71000 447.97000 446.77000 4.97000 14.30000 0.85000 -> 1.00000 0.99963 1.00000 **2.98621**
 456.90000 448.78000 448.08000 446.87000 5.03000 14.50000 0.86000 -> 1.00000 0.99963 1.00000 **2.98626**
 457.05000 448.92000 448.22000 446.99000 5.19000 15.20000 0.89000 -> 1.00000 0.99962 1.00000 **2.98586**
 457.40000 449.20000 448.39000 447.20000 5.36000 15.40000 0.89000 -> 1.00000 0.99963 1.00000 **2.98624**
 456.85000 448.84000 448.10000 446.95000 5.19000 14.00000 0.83000 -> 1.00000 0.99966 1.00000 **2.98699**
 456.95000 448.92000 448.20000 447.02000 5.28000 14.00000 0.83000 -> 1.00000 0.99967 1.00000 **2.98717**
 457.00000 448.96000 448.21000 447.06000 5.27000 13.90000 0.82000 -> 1.00000 0.99968 1.00000 **2.98770**
 457.00000 449.00000 448.27000 447.12000 5.39000 13.70000 0.81000 -> 1.00000 0.99970 1.00000 **2.98812**
 457.10000 449.10000 448.36000 447.24000 5.52000 13.70000 0.80000 -> 1.00000 0.99973 1.00000 **2.98893**
 457.10000 449.20000 448.43000 447.31000 5.52000 13.90000 0.81000 -> 1.00000 0.99973 1.00000 **2.98898**
 457.20000 449.18000 448.44000 447.32000 5.52000 13.60000 0.79000 -> 1.00000 0.99976 1.00000 **2.99007**
 457.20000 449.17000 448.50000 447.32000 5.54000 13.70000 0.80000 -> 1.00000 0.99975 1.00000 **2.98960**
 457.20000 449.09000 448.46000 447.27000 5.47000 13.30000 0.77000 -> 1.00000 0.99980 1.00000 **2.99117**
 457.15000 449.04000 448.38000 447.21000 5.40000 13.20000 0.77000 -> 1.00000 0.99979 1.00000 **2.99083**

457.00000 449.04000 448.31000 447.17000 5.38000 12.90000 0.76000 -> 1.00000 0.99979 1.00000 2.99104
 457.20000 449.06000 448.38000 447.03000 5.35000 13.40000 0.78000 -> 1.00000 0.99974 1.00000 2.98949
 457.20000 449.03000 448.33000 446.93000 5.25000 13.30000 0.77000 -> 1.00000 0.99975 1.00000 2.98972
 457.20000 448.97000 448.28000 446.78000 5.11000 13.30000 0.77000 -> 1.00000 0.99974 1.00000 2.98929
 457.10000 448.93000 448.25000 446.71000 5.07000 12.80000 0.75000 -> 1.00000 0.99976 1.00000 2.99000
 457.00000 448.87000 448.19000 446.60000 5.02000 13.10000 0.77000 -> 1.00000 0.99971 1.00000 2.98849
 456.80000 448.74000 448.14000 446.54000 4.92000 13.10000 0.78000 -> 1.00000 0.99969 1.00000 2.98796
 456.65000 448.65000 447.96000 446.44000 4.81000 13.20000 0.79000 -> 1.00000 0.99966 1.00000 2.98718
 456.30000 448.08000 447.56000 446.06000 4.67000 12.40000 0.76000 -> 1.00000 0.99963 1.00000 2.98654
 456.05000 448.32000 447.58000 446.01000 4.47000 11.70000 0.73000 -> 1.00000 0.99967 1.00000 2.98780

Tabela 16 – Modelo ALBATROZ. Ficheiro tipo de dados para diagnóstico para a Fase da barragem posterior à reabilitação

95						
448.70	441.90	441.37	439.83	0.00	2.80	0.32
448.55	441.81	441.35	439.79	0.49	1.62	0.19
448.35	441.55	441.13	439.53	0.49	1.56	0.19
448.10	441.31	440.79	439.00	0.00	1.30	0.16
447.85	441.03	440.58	438.86	0.47	0.62	0.08
447.55	441.37	440.49	438.75	0.00	0.55	0.07
447.33	441.20	440.44	438.60	0.00	0.55	0.08
447.30	441.20	440.33	438.50	0.00	0.62	0.09
447.10	441.11	440.38	438.54	0.00	0.42	0.06
447.05	441.00	440.31	438.46	0.00	0.55	0.08
447.10	441.00	440.31	438.69	0.00	0.59	0.08
447.50	441.55	439.48	438.57	0.46	0.65	0.09
446.60	441.20	439.40	438.52	0.00	0.56	0.09
448.43	441.54	439.42	438.47	0.41	0.59	0.07
448.63	441.60	439.41	438.53	0.43	0.50	0.06
449.20	441.76	439.50	438.50	0.43	0.50	0.05
449.55	441.75	439.53	438.60	0.42	0.46	0.05
450.12	441.90	439.56	438.60	0.41	0.46	0.05
450.92	442.30	439.71	438.73	0.41	0.46	0.04
451.15	442.70	439.70	438.74	0.41	0.69	0.06
451.53	443.04	439.80	438.75	0.41	0.59	0.05
451.96	443.23	439.86	438.79	0.41	0.59	0.05
452.38	443.41	439.83	438.71	0.42	0.65	0.05
452.72	443.51	439.89	438.75	0.40	0.59	0.05
453.12	443.65	439.96	438.80	0.40	0.58	0.04
453.50	443.77	440.00	438.82	0.41	0.59	0.04
453.67	444.00	440.04	438.82	0.41	0.59	0.04
453.85	444.07	440.24	438.84	0.41	0.66	0.05
454.07	444.20	440.37	438.84	0.42	0.65	0.05
454.45	444.20	440.42	438.72	0.37	0.62	0.04
454.60	444.32	440.48	438.80	0.40	0.62	0.04
454.89	444.41	440.56	438.79	0.40	0.62	0.04
455.13	444.52	440.63	438.80	0.40	0.62	0.04
456.30	444.73	440.83	439.00	0.40	1.35	0.08
457.33	445.20	441.38	439.09	0.42	0.95	0.05
457.85	445.42	441.43	439.17	0.41	0.95	0.05
459.48	445.96	441.92	439.37	0.40	1.35	0.07
459.90	446.20	442.41	439.45	0.41	1.72	0.09
460.48	446.35	442.19	439.46	0.39	1.27	0.06
460.73	446.43	442.57	439.48	0.41	1.45	0.07
460.83	446.47	442.70	439.48	0.40	1.50	0.07
460.97	446.56	442.67	439.50	0.40	1.57	0.07
461.36	446.76	444.34	439.92	0.59	2.21	0.10
461.50	446.85	444.70	439.60	0.42	1.68	0.08
461.61	446.77	442.70	439.55	0.40	1.64	0.08
461.71	446.86	442.52	439.56	0.40	1.58	0.07
461.93	446.26	441.10	439.57	0.40	1.68	0.08
461.80	446.24	441.41	439.57	0.40	1.58	0.07
461.97	446.21	440.92	439.53	0.41	1.41	0.06
461.99	446.20	441.48	439.51	0.42	1.58	0.07
461.96	446.20	441.63	439.46	0.40	1.68	0.08
462.00	446.23	440.73	439.38	0.42	1.58	0.07
461.93	446.20	440.74	439.50	0.42	1.60	0.07

461.95	446.20	440.76	439.49	0.42	1.70	0.08
461.98	446.20	441.10	439.49	0.42	1.63	0.07
461.98	446.20	441.41	438.93	0.06	1.63	0.07
461.94	446.20	441.04	438.92	0.06	1.60	0.07
461.90	446.20	441.14	438.95	0.07	1.60	0.07
461.84	446.20	441.30	438.96	0.07	1.60	0.07
461.77	446.18	440.82	438.93	0.11	1.60	0.07
461.71	446.09	441.20	438.87	0.09	1.60	0.07
460.83	445.90	440.94	438.72	0.12	1.62	0.08
460.25	445.64	441.23	438.66	0.07	1.62	0.08
460.12	445.51	440.61	438.62	0.00	1.62	0.08
459.96	445.42	440.79	438.65	0.06	1.62	0.08
459.70	445.34	440.50	438.67	0.06	1.68	0.09
459.48	445.13	441.98	438.68	0.07	1.41	0.07
459.18	444.99	440.70	438.65	0.02	1.58	0.08
458.85	444.68	440.58	438.76	0.00	1.41	0.07
458.85	444.61	440.70	438.76	0.00	1.54	0.08
458.88	444.61	440.70	438.76	0.00	1.62	0.09
463.28	444.69	441.25	439.49	0.00	2.63	0.11
463.65	444.84	441.55	439.59	0.00	2.58	0.11
464.92	445.37	442.02	439.70	0.00	2.95	0.12
466.32	446.29	442.10	440.03	2.28	3.32	0.13
466.10	446.16	441.85	440.42	1.90	3.41	0.13
465.79	446.05	441.68	440.30	1.84	3.20	0.12
465.19	445.77	441.44	440.08	1.78	3.05	0.12
464.90	445.63	441.35	439.88	1.74	2.76	0.11
464.48	445.45	441.20	439.85	1.71	2.57	0.11
463.18	444.91	440.89	439.57	1.29	2.39	0.10
462.00	444.46	440.76	439.38	0.38	1.88	0.09
460.70	444.12	440.64	439.37	0.00	1.77	0.09
459.60	443.84	440.35	439.31	0.00	1.61	0.08
459.30	443.52	440.56	439.29	0.00	1.64	0.08
467.03	447.01	443.18	441.25	1.71	5.13	0.19
467.03	447.06	443.40	441.98	2.08	4.65	0.17
467.06	447.38	443.87	442.49	2.34	5.28	0.20
467.06	447.37	444.01	442.70	2.44	4.79	0.18
467.02	447.30	443.92	442.78	2.63	4.50	0.17
467.00	447.11	443.93	442.66	2.54	4.50	0.17
466.90	447.01	443.80	442.49	2.49	4.35	0.16
466.35	446.52	443.39	442.11	2.26	3.55	0.13
465.80	445.98	442.93	441.46	2.14	3.09	0.12
465.60	446.20	443.37	441.76	2.15	3.06	0.12

Tabela 17 – Modelo Albatroz. Ficheiro tipo de resultados do diagnóstico para a Fase da barragem posterior à reabilitação

Neural network v1.4 de 2010/09/30

Neural network v1.5 de 2010/11/09

Neural network v1.6 de 2010/11/15

Neural network v1.7 de 2010/12/07

Options train/retrain - or - test - or - run

Loading file...

Defining net...

Read trained network...

Read rede.set datafile...

Reading New Data...

Compute new data

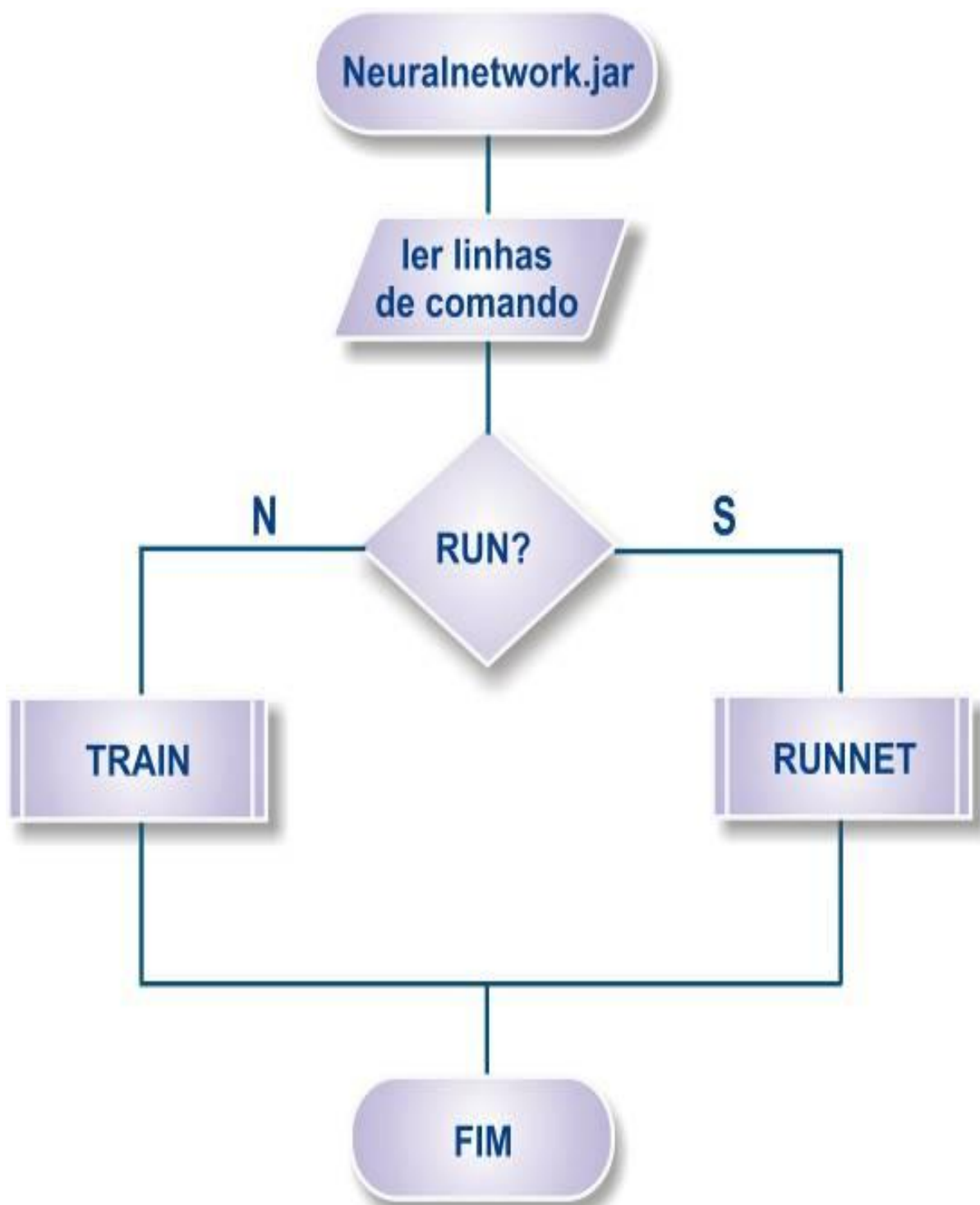
448.70000	441.90000	441.37000	439.83000	0.00000	2.80000	0.32000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.04650
448.55000	441.81000	441.35000	439.79000	0.49000	1.62000	0.19000	->	1.00000	0.00000	1.00000	2.59427
448.35000	441.55000	441.13000	439.53000	0.49000	1.56000	0.19000	->	1.00000	0.00000	1.00000	2.64445
448.10000	441.31000	440.79000	439.00000	0.00000	1.30000	0.16000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.01753
447.85000	441.03000	440.58000	438.86000	0.47000	0.62000	0.08000	->	0.79661	0.00000	1.00000	2.08547
447.55000	441.37000	440.49000	438.75000	0.00000	0.55000	0.07000	->	0.99981	0.00000	0.00000	0.00351
447.33000	441.20000	440.44000	438.60000	0.00000	0.55000	0.08000	->	0.99999	0.00000	0.00000	0.00339
447.30000	441.20000	440.33000	438.50000	0.00000	0.62000	0.09000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.00420
447.10000	441.11000	440.38000	438.54000	0.00000	0.42000	0.06000	->	0.99910	0.00000	0.00000	0.00175
447.05000	441.00000	440.31000	438.46000	0.00000	0.55000	0.08000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.00250
447.10000	441.00000	440.31000	438.69000	0.00000	0.59000	0.08000	->	0.99999	0.00000	0.00000	0.00315
447.50000	441.55000	439.48000	438.57000	0.46000	0.65000	0.09000	->	0.91250	0.00000	1.00000	1.70125
446.60000	441.20000	439.40000	438.52000	0.00000	0.56000	0.09000	->	1.00000	0.00000	0.00001	0.00489
448.43000	441.54000	439.42000	438.47000	0.41000	0.59000	0.07000	->	0.34426	0.00000	1.00000	1.29567
448.63000	441.60000	439.41000	438.53000	0.43000	0.50000	0.06000	->	0.02423	0.00000	1.00000	1.22544
449.20000	441.76000	439.50000	438.50000	0.43000	0.50000	0.05000	->	0.00356	0.00000	1.00000	1.09524
449.55000	441.75000	439.53000	438.60000	0.42000	0.46000	0.05000	->	0.00242	0.00000	1.00000	1.08706
450.12000	441.90000	439.56000	438.60000	0.41000	0.46000	0.05000	->	0.00169	0.00000	1.00000	0.94795
450.92000	442.30000	439.71000	438.73000	0.41000	0.46000	0.04000	->	0.00010	0.00000	1.00000	0.71969
451.15000	442.70000	439.70000	438.74000	0.41000	0.69000	0.06000	->	0.00298	0.00000	1.00000	0.47953
451.53000	443.04000	439.80000	438.75000	0.41000	0.59000	0.05000	->	0.00011	0.00000	1.00000	0.32465
451.96000	443.23000	439.86000	438.79000	0.41000	0.59000	0.05000	->	0.00005	0.00000	1.00000	0.23048
452.38000	443.41000	439.83000	438.71000	0.42000	0.65000	0.05000	->	0.00004	0.00000	1.00000	0.16136
452.72000	443.51000	439.89000	438.75000	0.40000	0.59000	0.05000	->	0.00002	0.00000	1.00000	0.12225
453.12000	443.65000	439.96000	438.80000	0.40000	0.58000	0.04000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.07119

453.50000	443.77000	440.00000	438.82000	0.41000	0.59000	0.04000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.04953
453.67000	444.00000	440.04000	438.82000	0.41000	0.59000	0.04000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.03037
453.85000	444.07000	440.24000	438.84000	0.41000	0.66000	0.05000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.03376
454.07000	444.20000	440.37000	438.84000	0.42000	0.65000	0.05000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.02841
454.45000	444.20000	440.42000	438.72000	0.37000	0.62000	0.04000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.02042
454.60000	444.32000	440.48000	438.80000	0.40000	0.62000	0.04000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.01536
454.89000	444.41000	440.56000	438.79000	0.40000	0.62000	0.04000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.01213
455.13000	444.52000	440.63000	438.80000	0.40000	0.62000	0.04000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00898
456.30000	444.73000	440.83000	439.00000	0.40000	1.35000	0.08000	->	0.00262	0.00000	1.00000	0.00631
457.33000	445.20000	441.38000	439.09000	0.42000	0.95000	0.05000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00136
457.85000	445.42000	441.43000	439.17000	0.41000	0.95000	0.05000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00071
459.48000	445.96000	441.92000	439.37000	0.40000	1.35000	0.07000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00044
459.90000	446.20000	442.41000	439.45000	0.41000	1.72000	0.09000	->	0.00345	0.00000	1.00000	0.00094
460.48000	446.35000	442.19000	439.46000	0.39000	1.27000	0.06000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00023
460.73000	446.43000	442.57000	439.48000	0.41000	1.45000	0.07000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00043
460.83000	446.47000	442.70000	439.48000	0.40000	1.50000	0.07000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00048
460.97000	446.56000	442.67000	439.50000	0.40000	1.57000	0.07000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00047
461.36000	446.76000	444.34000	439.92000	0.59000	2.21000	0.10000	->	0.31525	0.00000	1.00000	0.01371
461.50000	446.85000	444.70000	439.60000	0.42000	1.68000	0.08000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00654
461.61000	446.77000	442.70000	439.55000	0.40000	1.64000	0.08000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00052
461.71000	446.86000	442.52000	439.56000	0.40000	1.58000	0.07000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00030
461.93000	446.26000	441.10000	439.57000	0.40000	1.68000	0.08000	->	0.00080	0.00000	1.00000	0.00026
461.80000	446.24000	441.41000	439.57000	0.40000	1.58000	0.07000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00022
461.97000	446.21000	440.92000	439.53000	0.41000	1.41000	0.06000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00009
461.99000	446.20000	441.48000	439.51000	0.42000	1.58000	0.07000	->	0.00000	0.00000	1.00000	0.00022
461.96000	446.20000	441.63000	439.46000	0.40000	1.68000	0.08000	->	0.00030	0.00000	1.00000	0.00033
462.00000	446.23000	440.73000	439.38000	0.42000	1.58000	0.07000	->	0.00001	0.00000	1.00000	0.00014
461.93000	446.20000	440.74000	439.50000	0.42000	1.60000	0.07000	->	0.00002	0.00000	1.00000	0.00016
461.95000	446.20000	440.76000	439.49000	0.42000	1.70000	0.08000	->	0.00181	0.00000	1.00000	0.00024
461.98000	446.20000	441.10000	439.49000	0.42000	1.63000	0.07000	->	0.00001	0.00000	1.00000	0.00020
461.98000	446.20000	441.41000	438.93000	0.06000	1.63000	0.07000	->	0.02560	0.00000	0.01418	0.00028
461.94000	446.20000	441.04000	438.92000	0.06000	1.60000	0.07000	->	0.01508	0.00000	0.01167	0.00023
461.90000	446.20000	441.14000	438.95000	0.07000	1.60000	0.07000	->	0.01262	0.00000	0.03297	0.00024
461.84000	446.20000	441.30000	438.96000	0.07000	1.60000	0.07000	->	0.01273	0.00000	0.04055	0.00026
461.77000	446.18000	440.82000	438.93000	0.11000	1.60000	0.07000	->	0.00816	0.00000	0.45076	0.00022
461.71000	446.09000	441.20000	438.87000	0.09000	1.60000	0.07000	->	0.01969	0.00000	0.16987	0.00029
460.83000	445.90000	440.94000	438.72000	0.12000	1.62000	0.08000	->	0.78948	0.00000	0.49187	0.00067
460.25000	445.64000	441.23000	438.66000	0.07000	1.62000	0.08000	->	0.97809	0.00000	0.01014	0.00104
460.12000	445.51000	440.61000	438.62000	0.00000	1.62000	0.08000	->	0.99858	0.00000	0.00002	0.00083
459.96000	445.42000	440.79000	438.65000	0.06000	1.62000	0.08000	->	0.99289	0.00000	0.00265	0.00108

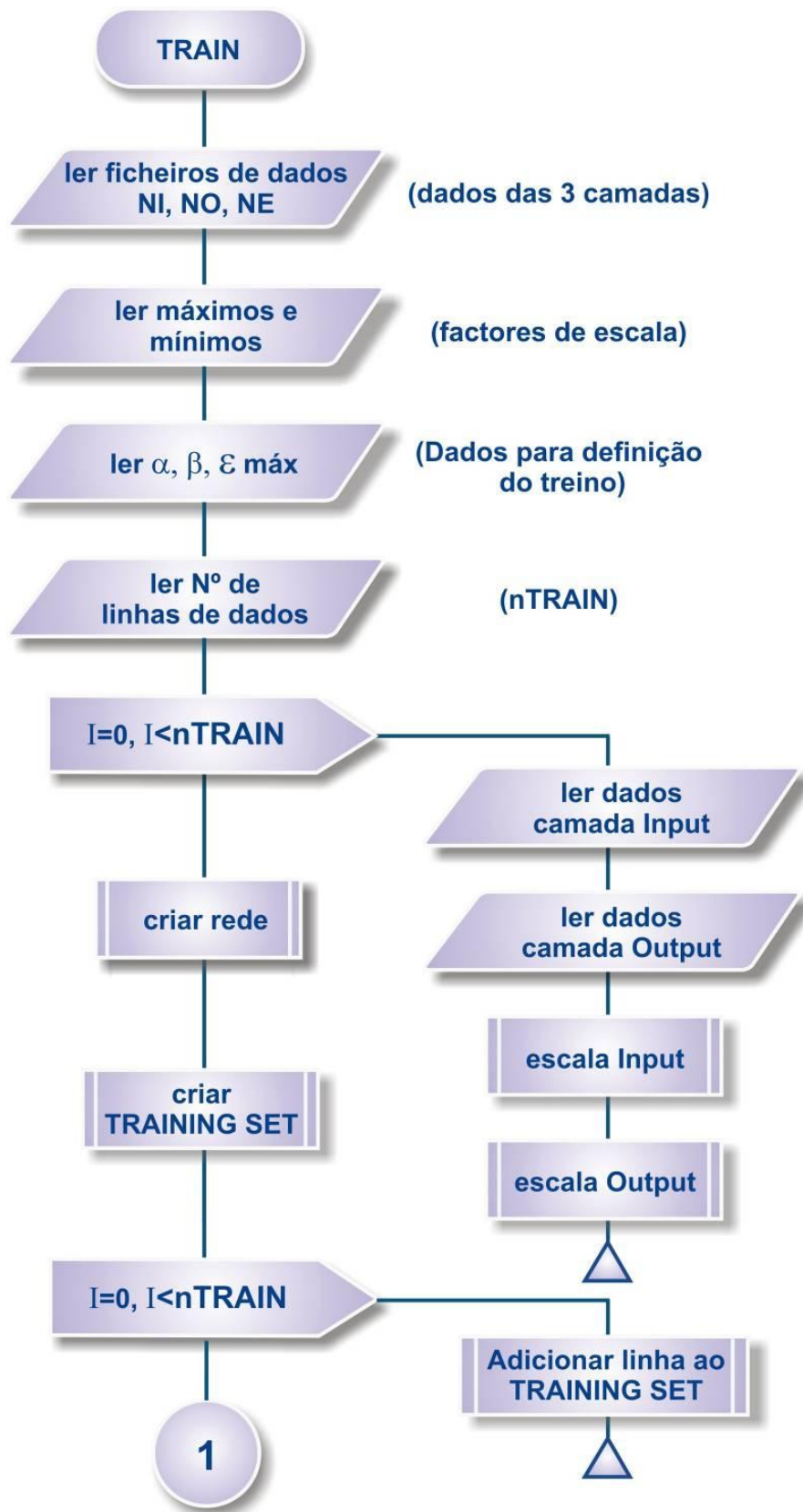
459.70000	445.34000	440.50000	438.67000	0.06000	1.68000	0.09000	->	0.99992	0.00000	0.00072	0.00196
459.48000	445.13000	441.98000	438.68000	0.07000	1.41000	0.07000	->	0.13907	0.00000	0.12568	0.00141
459.18000	444.99000	440.70000	438.65000	0.02000	1.58000	0.08000	->	0.99837	0.00000	0.00007	0.00118
458.85000	444.68000	440.58000	438.76000	0.00000	1.41000	0.07000	->	0.85622	0.00000	0.00006	0.00050
458.85000	444.61000	440.70000	438.76000	0.00000	1.54000	0.08000	->	0.99880	0.00000	0.00001	0.00107
458.88000	444.61000	440.70000	438.76000	0.00000	1.62000	0.09000	->	0.99998	0.00000	0.00000	0.00218
463.28000	444.69000	441.25000	439.49000	0.00000	2.63000	0.11000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.00500
463.65000	444.84000	441.55000	439.59000	0.00000	2.58000	0.11000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.00438
464.92000	445.37000	442.02000	439.70000	0.00000	2.95000	0.12000	->	1.00000	0.00000	0.00000	0.00219
466.32000	446.29000	442.10000	440.03000	2.28000	3.32000	0.13000	->	0.71258	0.00000	1.00000	2.75617
466.10000	446.16000	441.85000	440.42000	1.90000	3.41000	0.13000	->	0.99946	0.00000	1.00000	1.32523
465.79000	446.05000	441.68000	440.30000	1.84000	3.20000	0.12000	->	0.80820	0.00000	1.00000	1.24949
465.19000	445.77000	441.44000	440.08000	1.78000	3.05000	0.12000	->	0.79737	0.00000	1.00000	1.32948
464.90000	445.63000	441.35000	439.88000	1.74000	2.76000	0.11000	->	0.00512	0.00000	1.00000	1.09466
464.48000	445.45000	441.20000	439.85000	1.71000	2.57000	0.11000	->	0.00061	0.00000	1.00000	1.10829
463.18000	444.91000	440.89000	439.57000	1.29000	2.39000	0.10000	->	0.01502	0.00000	1.00000	0.10325
462.00000	444.46000	440.76000	439.38000	0.38000	1.88000	0.09000	->	0.94646	0.00000	1.00000	0.00131
460.70000	444.12000	440.64000	439.37000	0.00000	1.77000	0.09000	->	0.99999	0.00000	0.00000	0.00141
459.60000	443.84000	440.35000	439.31000	0.00000	1.61000	0.08000	->	0.99868	0.00000	0.00000	0.00078
459.30000	443.52000	440.56000	439.29000	0.00000	1.64000	0.08000	->	0.99971	0.00000	0.00000	0.00120
467.03000	447.01000	443.18000	441.25000	1.71000	5.13000	0.19000	->	1.00000	0.00000	1.00000	0.02256
467.03000	447.06000	443.40000	441.98000	2.08000	4.65000	0.17000	->	1.00000	0.00011	1.00000	0.02364
467.06000	447.38000	443.87000	442.49000	2.34000	5.28000	0.20000	->	1.00000	0.00453	1.00000	0.03204
467.06000	447.37000	444.01000	442.70000	2.44000	4.79000	0.18000	->	1.00000	0.01115	1.00000	0.07081
467.02000	447.30000	443.92000	442.78000	2.63000	4.50000	0.17000	->	1.00000	0.00524	1.00000	0.17273
467.00000	447.11000	443.93000	442.66000	2.54000	4.50000	0.17000	->	1.00000	0.00574	1.00000	0.17678
466.90000	447.01000	443.80000	442.49000	2.49000	4.35000	0.16000	->	1.00000	0.00182	1.00000	0.17423
466.35000	446.52000	443.39000	442.11000	2.26000	3.55000	0.13000	->	0.15978	0.00010	1.00000	0.43418
465.80000	445.98000	442.93000	441.46000	2.14000	3.09000	0.12000	->	0.00016	0.00000	1.00000	1.07119
465.60000	446.20000	443.37000	441.76000	2.15000	3.06000	0.12000	->	0.00003	0.00006	1.00000	0.78099

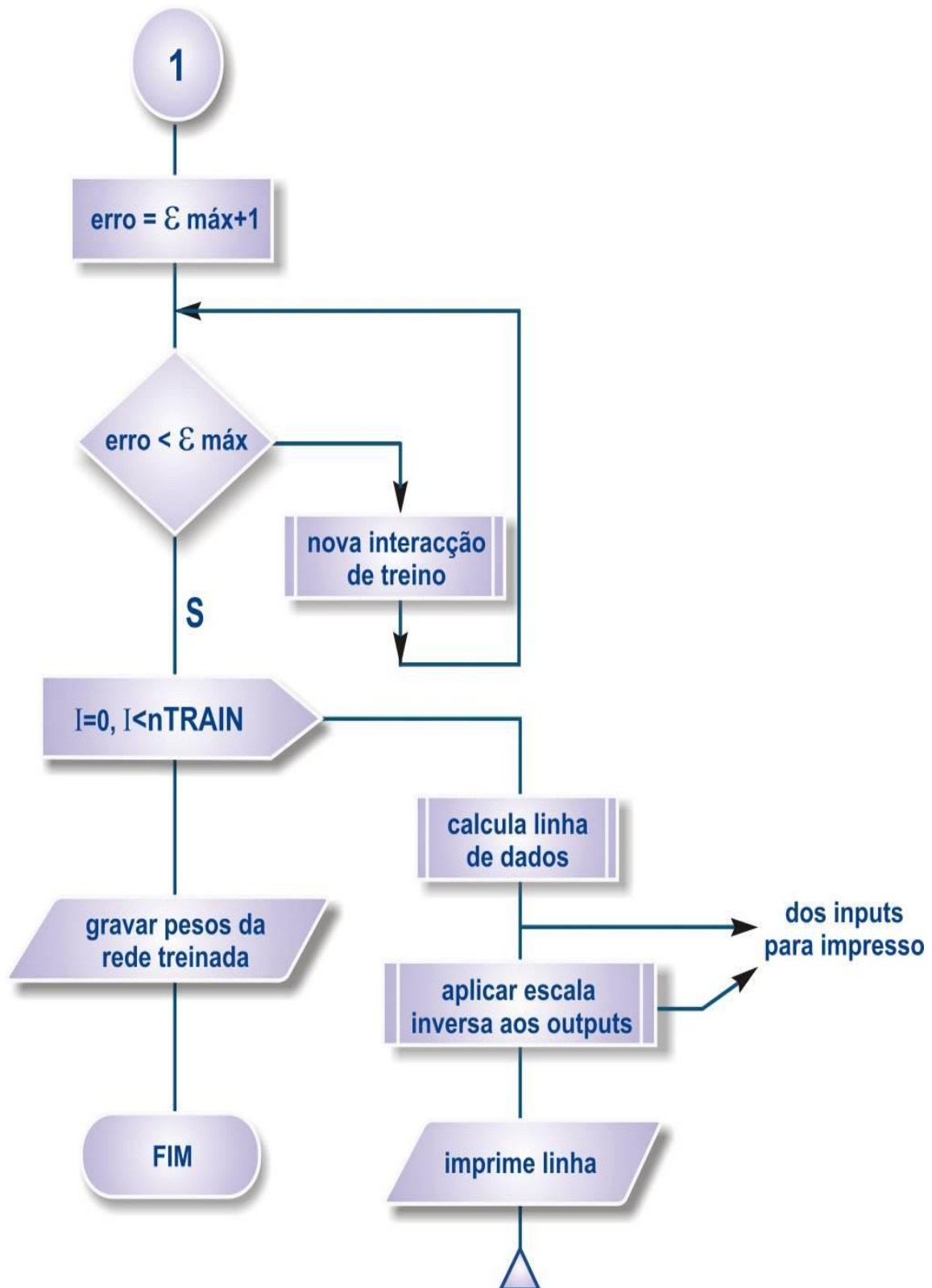
ANEXO II –Fluxogramas e Algoritimos

Fluxograma do modelo ALBATROZ









Algoritmo do modelo ALBATROZ

Código Main

```
/*
 * To change this template, choose Tools | Templates
 * and open the template in the editor.
 */

package org.neuroph.contrib;

import java.io.IOException;
import java.util.logging.Level;
import java.util.logging.Logger;

/**
 *
 * @author José
 */
public class Modulo
{

    public static void main(String args[])
    {
        try
        {
            if(args.length==0){System.out.println("usage: java -jar
trainnet train|run");}
            if(args[0].equals("run")){Runnet.run();}
            if(args[0].equals("train")){Train.train();}
        } catch (IOException ex)
        {

            Logger.getLogger(Modulo.class.getName()).log(Level.SEVERE, null,
ex);

        }

    }

}
```

Código Runnet

```
/*
 * To change this template, choose Tools | Templates
 * and open the template in the editor.
 */

package org.neuroph.contrib;

import java.io.BufferedInputStream;
import java.io.DataInputStream;
import java.io.File;
import java.io.FileInputStream;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.IOException;
import java.util.StringTokenizer;
import java.util.Vector;
import org.neuroph.core.NeuralNetwork;

/**
 *
 * @author José
 */
public class Runnet {

    public static void run() throws IOException
    {
        //ler características da rede
        System.out.println("Loading file...");
        File file = new File("rede.dat");
        // definicao da rede
        int ni = 0;
        int ne = 0;
        int no = 0;

        FileInputStream fis = null;
        BufferedInputStream bis = null;
        DataInputStream dis = null;
        StringTokenizer st;
        try {
            fis = new FileInputStream(file);
            // Here BufferedInputStream is added for fast reading.
            bis = new BufferedInputStream(fis);
            dis = new DataInputStream(bis);
            st = new StringTokenizer(dis.readLine()," \t");
            System.out.println("Defining net...");
            //while (st.hasMoreElements())
            //{
                ni= new Integer(st.nextToken()).intValue();
                ne= new Integer(st.nextToken()).intValue();
                no= new Integer(st.nextToken()).intValue();
            //}
            double[] maxi= new double[ni];
            double[] mini= new double[ni];
            double[] maxo= new double[ni];
            double[] mino= new double[ni];
        }
    }
}
```

```

        //ler vectores de maximos e mínimos dos neurónios de
input
        for (int j=0;j<ni;j++)
        {
            st = new StringTokenizer(dis.readLine()," \t");
//ler a linha com mínimo e máximo para cada neurónio
            mini[j]= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
//ler mínimo
            maxi[j]= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
//ler máximo
        }

        for (int j=0;j<no;j++)
        {
            st = new StringTokenizer(dis.readLine()," "); //ler
a linha com mínimo e máximo para cada neurónio
            mino[j]= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
//ler mínimo
            maxo[j]= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
//ler máximo
        }

// load the saved network
System.out.println("Read trained network...");
NeuralNetwork neuralNetwork =
NeuralNetwork.load("rede.nnet");

//ler novos inputs para calcular usando a rede
System.out.println("Read rede.set datafile...");
File filew = new File("rede.set");

int num_samples = 0;

fis = new FileInputStream(filew);

// Here BufferedInputStream is added for fast reading.
bis = new BufferedInputStream(fis);
dis = new DataInputStream(bis);
//ler quantas linhas de input vai haver
st = new StringTokenizer(dis.readLine()," \t");
num_samples= new Integer(st.nextToken()).intValue();

double[][] tset =new double[num_samples][ni];
double[][] oset =new double[num_samples][no];

System.out.println("Reading New Data...");
for (int i=0;i<num_samples;i++)
{
    st = new StringTokenizer(dis.readLine()," \t");
    for (int j=0;j<ni;j++)
    {
        tset[i][j]= new
Double(st.nextToken()).doubleValue();
    }
}

```

```

        }
        //aplicar o factor de escala aos dados de treino
        Train.scalein(maxi,mini,tset);

        System.out.println("Compute new data");
        computeNeuralNetwork(neuralNetwork, tset,maxo,mino);

    }

    catch (FileNotFoundException e)
    {
        System.out.println(e);
    }

}

public static void computeNeuralNetwork(NeuralNetwork neuralNet,
double[][] trainingSet,double[] maxo, double[] mino) {

    int i=0;
    for(double[] trainingElement : trainingSet) {
        neuralNet.setInput(trainingElement);
        neuralNet.calculate();
        Vector<Double> networkOutput = neuralNet.getOutput();
        //desfaz a escala
        int no=networkOutput.size();
        double[][] oout =new double[1][no];
        for (int j=0;j<no;j++)
        {

            oout[0][j]=networkOutput.get(j);
        }
        Train.scaleout(maxo,mino,oout);
        //System.out.println(tset[i][0]+","+ tset[i][1]+ " -> "+
        oset[i][0]+"-->"+networkOutput.toString());
        Runnet.vprint(trainingElement);    //array de input (com
a escala aplicada)
        System.out.print(" -> ");
        Runnet.vprint(oout[0]);    // imprime o array de output
(com a escala corrigida)
        System.out.println(" ");
        i++;
    }
}

public static void vprint(double[] array)
{

    for (int j=0;j<array.length;j++)
    {
        System.out.print(array[j] + " ");
    }
    //System.out.print(" -> ");

}

}

```

Código Train

```
/*
 * To change this template, choose Tools | Templates
 * and open the template in the editor.
 */

package org.neuroph.contrib;

import java.io.BufferedReader;
import java.io.DataInputStream;
import java.io.File;
import java.io.FileInputStream;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.IOException;
import java.util.StringTokenizer;
import java.util.Vector;
import org.neuroph.core.NeuralNetwork;
//import org.neuroph.core.learning.IterativeLearning;
import org.neuroph.core.learning.SupervisedTrainingElement;
import org.neuroph.core.learning.TrainingSet;
import org.neuroph.nnet.MultiLayerPerceptron;
import org.neuroph.util.TransferFunctionType;
import org.neuroph.core.learning.IterativeLearning;
import org.neuroph.core.learning.LearningRule;
import org.neuroph.nnet.learning.MomentumBackpropagation;

/**
 *
 * @author José
 */
public class Train {

    public static void train()
    {
        // 1º argumento -> nome do ficheiro
        System.out.println("Loading file...");
        File file = new File("rede.dat");

        // definicao da rede
        int ni = 0;
        int ne = 0;
        int no = 0;
        int ntrain =0;
        int itcount=0;
        int deltat=100;

        FileInputStream fis = null;
        BufferedReader bis = null;
        DataInputStream dis = null;

        StringTokenizer st;

        try {
            fis = new FileInputStream(file);
```

```

        // Here BufferedInputStream is added for fast reading.
        bis = new BufferedInputStream(fis);
        dis = new DataInputStream(bis);

        // dis.available() returns 0 if the file does not have
more lines.
        //while (dis.available() != 0) {

        // this statement reads the line from the file and print
it to
        // the console.
        //System.out.println(dis.readLine());
        st = new StringTokenizer(dis.readLine()," ");

        System.out.println("Defining net...");

        //while (st.hasMoreElements())
        //{
            ni= new Integer(st.nextToken()).intValue();
            ne= new Integer(st.nextToken()).intValue();
            no= new Integer(st.nextToken()).intValue();
        //}

        double[] maxi= new double[ni];
        double[] mini= new double[ni];
        double[] maxo= new double[ni];
        double[] mino= new double[ni];

        //ler vectores de maximos e mínimos dos neur nios de
input
        for (int j=0;j<ni;j++)
        {
            st = new StringTokenizer(dis.readLine()," \t");
//ler a linha com mínimo e máximo para cada neur nio
            mini[j]= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
//ler mínimo
            maxi[j]= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
//ler máximo
        }

        for (int j=0;j<no;j++)
        {
            st = new StringTokenizer(dis.readLine()," \t");
//ler a linha com mínimo e máximo para cada neur nio
            mino[j]= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
//ler mínimo
            maxo[j]= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
//ler máximo
        }

        //ler dados do processo de treino
        double alfa=0; //taxa de aprendizagem

```

```

double beta=0; //momentum
double maxerror=0; //erro maximo do processo de
treino

st = new StringTokenizer(dis.readLine()," \t");
alfa= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
beta= new Double(st.nextToken()).doubleValue();
maxerror=new Double(st.nextToken()).doubleValue();

//dados de treino
st = new StringTokenizer(dis.readLine()," ");
ntrain= new Integer(st.nextToken()).intValue();

//dimensionar arrays
double[][] tset =new double[ntrain][ni];
double[][] oset =new double[ntrain][no];
System.out.println("Reading TSet...");
for (int i=0;i<ntrain;i++)
{
    st = new StringTokenizer(dis.readLine()," \t");
    for (int j=0;j<ni;j++)
    {
        tset[i][j]= new
Double(st.nextToken()).doubleValue(); //ler dados de input da rede
//if (tset[i][j]> maxi[j]){maxi[j]=tset[i][j];}
//guarda máximo
//if (tset[i][j]< mini[j]){mini[j]=tset[i][j];}
//guarda mínimo
    }
    for (int j=0;j<no;j++)
    {
        oset[i][j]= new
Double(st.nextToken()).doubleValue(); //ler dados de output da rede
//if (oset[i][j]> maxo[j]){maxo[j]=oset[i][j];}
//guarda máximo
//if (oset[i][j]< mino[j]){mino[j]=oset[i][j];}
//guarda mínimo
    }
}
Vector rede= new Vector();
rede.add(ni);
rede.add(ne);
rede.add(no);

//aplicar o factor de escala aos dados de treino
scalein(maxi,mini,tset);
scalein(maxo,mino,oset);

// create new Multilayer perceptron network
NeuralNetwork neuralNetwork = new MultiLayerPerceptron
(rede,TransferFunctionType.SIGMOID);

// create training set
TrainingSet trainingSet = new TrainingSet();

```

```

        // for each line of the training set...
        for (int i=0; i<ntrain; i++)
        {
            // add training data to training set (logical OR
function)
            trainingSet.addElement(
                new SupervisedTrainingElement((double[])
tset[i], (double[]) oset[i]));
        }

        System.out.println("Training...");
        // learn the training set

        //traindata=new IterativeLearning();

        double erro=maxerror+1;

        MomentumBackpropagation mbp = new
MomentumBackpropagation();
        mbp.setLearningRate(alfa);
        mbp.setMaxError(maxerror);
        mbp.setMomentum(beta);
        mbp.setMaxIterations(deltait);

        while (erro>maxerror)
        {
            itcount=itcount+deltait;
            neuralNetwork.learnInSameThread(trainingSet, mbp);
            erro=mbp.getTotalNetworkError();
            System.out.println("It=" + itcount + " Erro=" +
erro + " (max=" + maxerror + ")");
        }

        //neuralNetwork.learnInSameThread(trainingSet, mbp);

        //criar elementos necessário para acompanhar a
aprendizagem

        //neuralNetwork.pauseLearning();

        //System.out.println("Aqui está uma pausada...");

        //neuralNetwork.resumeLearning();

        //neuralNetwork.learnInNewThread(trainingSet);

        for (int i=0; i<ntrain; i++) {
            // set network input
            neuralNetwork.setInput(tset[i]);
            // calculate network

```

```

        neuralNetwork.calculate();
        // get network output
        Vector <Double> networkOutput =
neuralNetwork.getOutput();

        //desfaz a escala

        double[][] oout =new double[1][no];
        for (int j=0;j<no;j++)
        {
            //System.out.println(j + " - " +no + " " +
oout[0][0]);
            oout[0][j]=networkOutput.get(j);
        }
        scaleout(maxo,mino,oout);
        //System.out.println(tset[i][0]+","+ tset[i][1]+ "
-> "+ oset[i][0]+"-->"+networkOutput.toString());
        Runnet.vprint(tset[i]); //array de input (com
a escala aplicada)
        System.out.print(" -> ");
        Runnet.vprint(oout[0]); // imprime o array de
output (com a escala corrigida)
        System.out.println(" ");
    }

    // dispose all the resources after using them.
    fis.close();
    bis.close();
    dis.close();

    // save the trained network into file
    neuralNetwork.save("rede.nnet");
}
catch (FileNotFoundException e)
{
    e.printStackTrace();
}
catch (IOException e)
{
    e.printStackTrace();
}
}

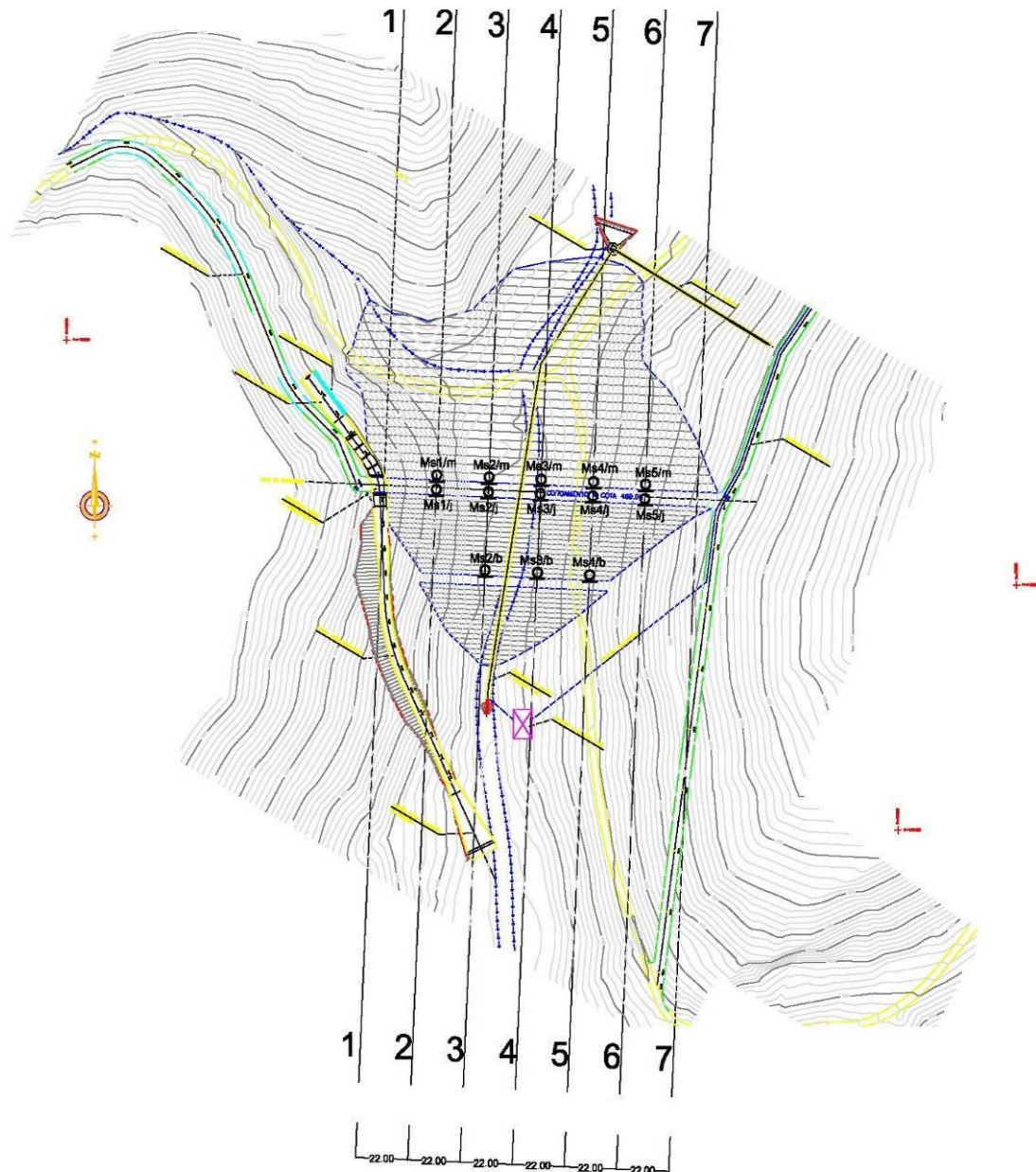
public static void scalein(double[] maximos, double[] minimos,
double[][] dados)
{
    for (int l=0;l<dados.length;l++)//correr todas as linhas
    {
        for (int c=0;c<dados[0].length;c++) //correr todas as
colunas
        {
            dados[l][c]=(dados[l][c]-minimos[c])/(maximos[c]-
minimos[c]);

```

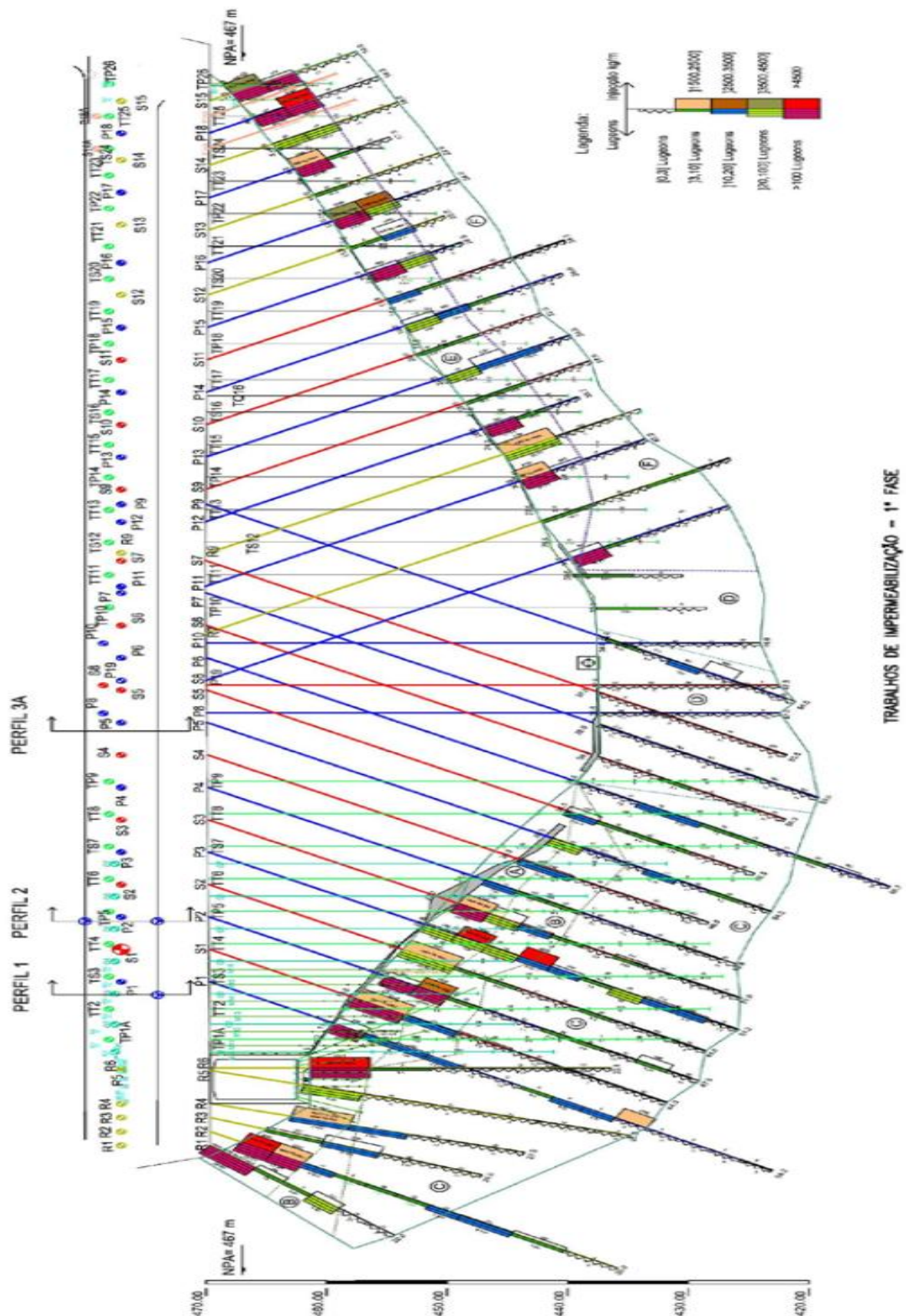
```
        }
    }
}

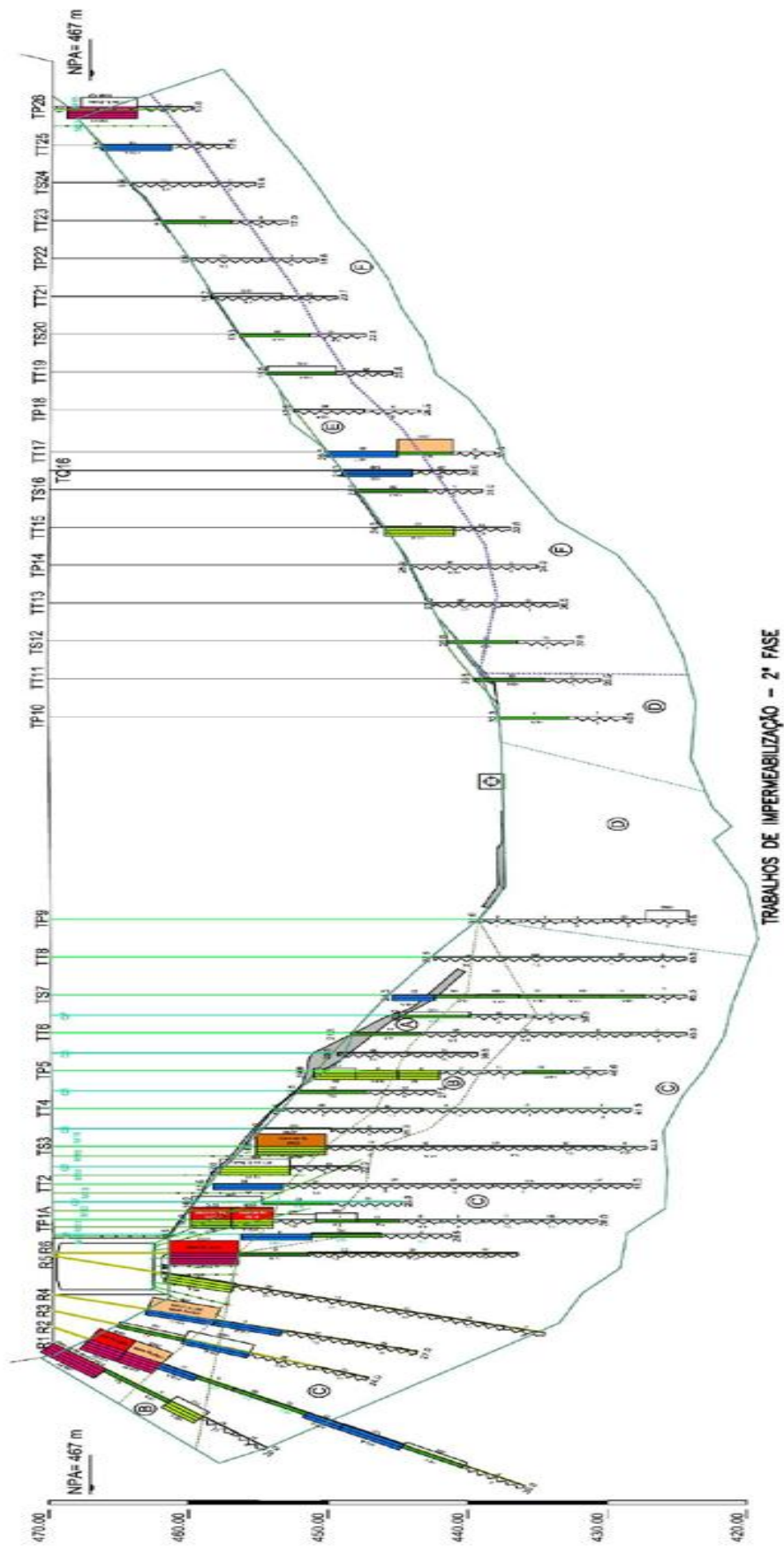
    public static void scaleout(double[] maximos, double[] minimos,
double[][] resultados)
    {
        for (int l=0;l<resultados.length;l ++)//correr todas as
linhas
        {
            for (int c=0;c<resultados[0].length;c ++) //correr todas
as colunas
            {
                resultados[l][c]=(maximos[c]-
minimos[c])*resultados[l][c]+minimos[c];
            }
        }
    }
}
```

ANEXO III – Desenhos

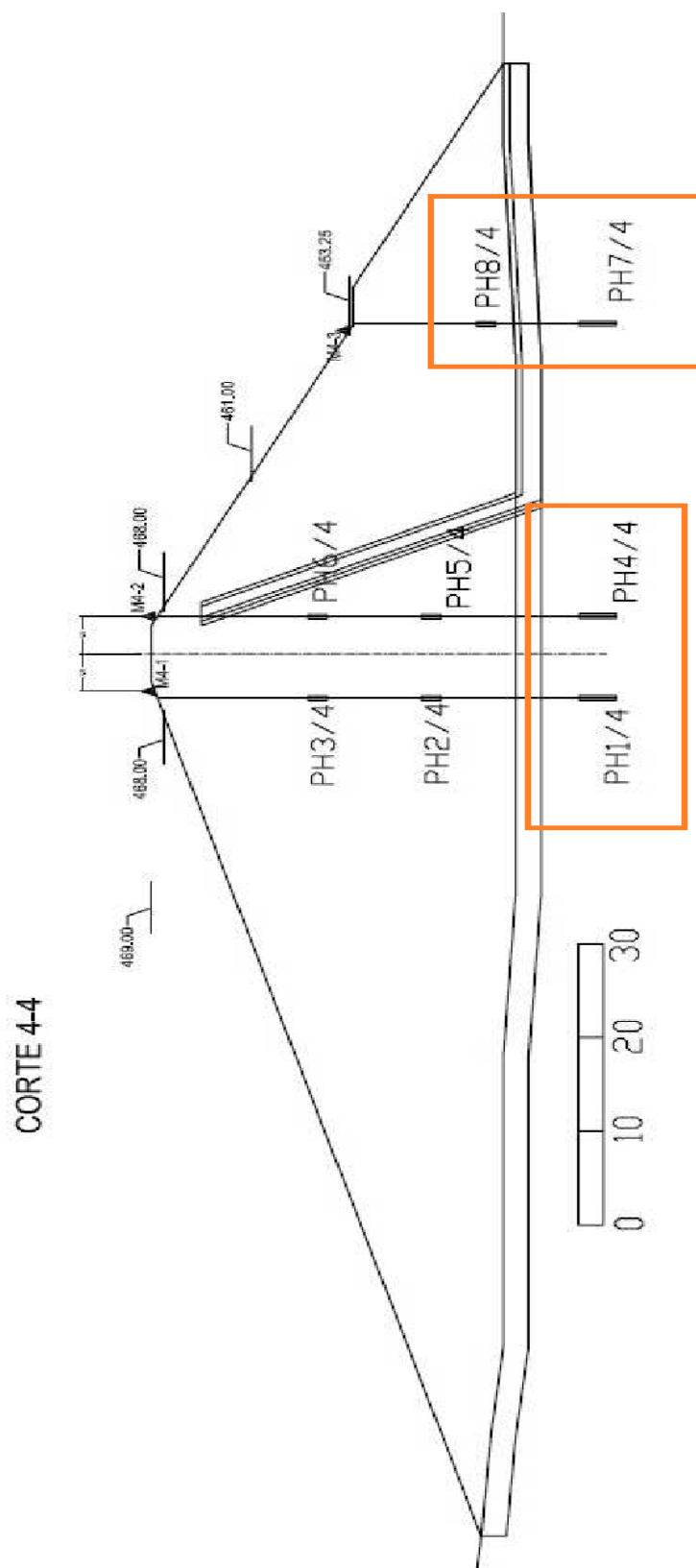


Desenho 1 – Planta da barragem de Valtorno/Mourão





Desenho 3 – Resultados das Injecções de Reforço da Impermeabilização, 2ª fase



Desenho 4 – Barragem de Valtorno/Mourão. Localização dos sensores a incluir na análise

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, A.B., 1999 – “Emergências e gestão do risco”. 1º Curso de Segurança e Exploração de Barragens, INAG, Lisboa.
- Almeida, A.B., Ramos, C.M., Santos, M.A. & Viseu, T., 2003 – “Dam-break flood risk management in Portugal”. Livro editado pelo LNEC, Lisboa.
- Burgos, F. J. (2003). Herramientas en GNU/Linux para estudiantes universitarios Redes Neuronales con GNU/Linux. Obtido em 10 de 10 de 2010, de http://es.tldp.org/Presentaciones/200304curso-glisa/redes_neuronales/curso-glisa-redes_neuronales.pdf
- Caldeira, L. (2001). Barragens. In Curso de Exploração e Segurança de Barragens (pp. 17 - 19). Lisboa: Instituto da Água ISBN- 972-9412-56-1.
- Caldeira, L. M. (2008). Análise de Risco em barragens de aterro. Lisboa: LNEC.
- Castro, A. S. (2001). Controlo de Segurança de Barragens. In Curso de Exploração e Segurança de Barragens (pp. I-8). Lisboa: Instituto da Água ISBN- 972-9412-56-1.
- Estudo sobre inteligência artificial. (n.d.)*. Obtido em 12 de 10 de 2010, de http://www.citi.pt/educacao_final/trab_final_inteligencia_artificial/aplicacoes_de_ia.html
- Faraco, R. A. L, Pires, C. JR. P., & Borges, C. F. R. (1998). Obtido em 10 de 10 de 2010, de Minimização do erro no algoritmo back-propagation aplicado ao problema de manutenção de motores: <ftp://ftp.est.ufmg.br/pub/fcruz/publics/po.pdf> p-3
- Histórico. (n.d.)*. Obtido em 06 de 08 de 2010, de Neurónio artificial - Wikipédia, a enciclopédia livre: http://pt.wikipedia.org/wiki/Neur%C3%B4nio_artificial
- Histórico das Redes. (n.d.)*. Obtido em 16 de 08 de 2009, de Seja bem vindo à homepage de Redes Neurais: <http://www.din.uem.br/ia/neurais/#historico>
- Marcelino, J. (2005). Plano de Observação da Barragem de Valtorno/Mourão. Lisboa LNEC - Relatório 274/05 NBOA.
- Marcelino, J. (2008). Projecto de construção de pequenas barragens. Lisboa: LNEC ISBN 978-972-2137-2.
- Marcelino, J., Ramos, J. M., & Santos, L. O. (2008). Observação do comportamento estrutural de barragens e de pontes. Critérios e métodos. Obtido em 05 de 08 de 2009, de http://dl.dropbox.com/u/1171836/cmle_2008.pdf
- Marcelino, J., Paixão, J.B. & Romeiro, M. (2010) – "Tratamento da Fundação da Barragem de Valtorno-Mourão". 12º Congresso Nacional de Geotecnia, Guimarães.
- Mata, J. T. (2007). Aplicação de redes neuronais ao controlo de segurança de barragens de betão. Lisboa: IST.
- Neurónio artificial. (n.d.)*. Obtido em 22 de 06 de 2009, de Neurónio artificial: http://pt.wikipedia.org/wiki/Neur%C3%B4nio_artificial
- O neurónio artificial. (n.d.)*. Obtido em 04 de 08 de 2010, de O que são as Redes Neurais artificiais: <http://www.cerebromente.org.br/n05/tecnologia/rna.htm>
- Ondas3. (2006). Obtido em 26 de 05 de 2009, de <http://Ondas3.blogs.sapo.pt/345037.html>.
- Portela, E. A., 2007 – «Monitoring and assessment of structures: computational tools and techniques issues». 5th International Conference on Dam Engineering, Lisbon.
- Regulamento de Segurança de Barragem [RSB]. (1990). Lisboa: Diário da República, Decreto Lei nº 11/90 de 6 de Janeiro.
- Tipos de redes neurais. (n.d.)*. Obtido em 03 de 07 de 2010, de Rede Neural - wikipédia, a enciclopédia livre: http://pt.wikipedia.org/wiki/Rede_neural#Ver_tamb.C3.A9m
- Thomé, A. C. G., & Oliveira, A. C. (2002). Obtido de Inteligência Computacional. Redes Neuronais: http://equipe.nce.ufrj.br/thome/grad/nn/mat_didatico/ic_grad2002_aula3.pdf

Viseu, T., Martins, R. & Santos, A., 2002. Mitigação do risco associado às deteriorações nos órgãos de segurança das barragens. Relatório LNEC 175/02.

Viseu, T., 2006. Segurança dos Vales a Jusante de Barragens. Metodologias para Apoio à Gestão do Risco. Tese de doutoramento, IST, Lisboa.

NOTA: A norma seguida na elaboração desta tese é a correspondente ao Despacho nº 52/2008 da ULHT, de 12 de Maio de 2008.

* Norma APA 5ª Edição